DIOGO ARTUR TOCACELLI COLELLA

Comportamento dos motoristas em interseções semaforizadas

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. José Reynaldo Anselmo Setti

São Carlos, SP
2008

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C691c

Colella, Diogo Artur Tocacelli

Comportamento dos motoristas em interseções
semaforizadas / Diogo Artur Tocacelli Colella ;
orientador José Reynaldo Anselmo Setti. -- São Carlos,
2008.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes e Área de Concentração em
Planejamento e Operação de Sistema de Transportes) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São
Paulo, 2008.

1. Engenharia de transportes. 2. Comportamento dos
motoristas. 3. Interseções semaforizadas. 4. Tempo de
percepção e reação. 5. Desaceleração. 6. Aceleração.
I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **DIOGO ARTUR TOCACELLI COLELLA**

Dissertação defendida e julgada em 29/02/2008 perante a Comissão Julgadora:

aprovado

Prof. Associado **JOSÉ REYNALDO ANSELMO SETTI (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Associado **ANTÔNIO NÉLSON RODRIGUES DA SILVA**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **WERNER KRAUS JUNIOR**
(Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC)

Prof. Titular **ELJI KAWAMOTO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes

Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais,
Caetano e Janette,
e aos que me apoiam.

“Cada um tem de mim exatamente o que cativou, e cada um é responsável pelo que cativou, não suporto falsidade e mentira, a verdade pode machucar, mas é sempre mais digna. Bom mesmo é ir a luta com determinação, abraçar a vida e viver com paixão. Perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem mais se atreve e a vida é muito para ser insignificante. Eu faço e abuso da felicidade e não desisto dos meus sonhos. O mundo está nas mãos daqueles que tem coragem de sonhar e correr o risco de viver seus sonhos.”

Charles Chaplin

“O segredo é não correr atrás das borboletas...
É cuidar do jardim para que elas venham até você.”

Mário Quintana

“Espere sempre o melhor, prepare-se para o pior e aceite o que vier.”

Provérbio Chinês

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Caetano Tocacelli Colella e Janette Tocacelli Colella, pelo apoio em todas as etapas de minha vida e pelos excelentes exemplos que me dão a cada dia – como a responsabilidade com a estrutura familiar, a honestidade, o respeito mútuo e a disposição para longos passeios de moto.

À minha irmã, Érica Tocacelli Colella, que sempre está ao meu lado com grande disposição e animação para enfrentar as turbulências que a vida nos impõe. Até mesmo ao meu irmão, Julio César Tocacelli Colella, a quem espero que a vida seja sua grande tutora.

À minha querida avó, Maria José Coelho Moreira, que sempre incentivou seus filhos e netos a trilhar o rumo da educação e da dignidade.

Special thanks to my aunt Solange Coelho Moreira.

A Capes pela bolsa de estudos concedida.

Ao Professor Dr. José Reynaldo Anselmo Setti, que sempre esteve presente em todos os momentos desta pesquisa, direcionando-a para as melhores soluções dos problemas que encontrávamos. Agradeço, principalmente, pela paciência com a correção de meus textos e pelas inúmeras dicas que tornaram este trabalho mais fácil de ler e compreender.

Não posso deixar de agradecer aos professores do *Virginia Tech Transportation Institute*, nos EUA, que, por intermédio do Professor Setti, forneceram uma base de dados completa que foi usada na pesquisa e que é, atualmente, inviável de ser obtida no Brasil.

Agradeço especialmente ao Professor Dr. Sérgio Henrique Demarchi por ter me apresentado a Engenharia de Transportes nos tempos de graduação, quando fui seu orientado de iniciação científica, e por sempre estar à disposição para me aconselhar. Também agradeço aos demais professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá.

Aos professores e funcionários do Departamento de Transportes (STT) da E-ESC-USP pelo cordial tratamento. Especial agradecimento à Magali e aos funcionários do Laboratório de Infra-Estrutura de Transportes (Gigante, Paulo e João), que tornam o laboratório um ambiente agradável, inclusive para um aluno da área de planejamento.

Às pessoas que estiveram ao meu lado durante o período em que não tive bolsa de auxílio.

Aos meus “irmãos” do grupo de pesquisa André Cunha, Cíntia Egami, Márcia Lika, Flávio Utimura, Juliana Araújo, Elievam Bessa e Francisco Arcelino pela amizade e convivência harmoniosa na busca por produzir melhores trabalhos.

Ao companheirismo e amizade eterna dos meus amigos da *Turma do Fervo* (e de suas famílias): Rê, João, Rita, Camila, Marcilene, Ariadne, Rodrigo, Thiago, Alisson, Zi, Jean, Carla e Edy, Cláudia, Paulinho, Amanda, César, Lucas, Viviane, Márcia e Diana.

Agradeço também ao grupo *petit-gateau* (Ana Elisa; Bruno; Carmen Carrasco; Christian; Fabíola, Eduardo e Eduardinho Aguiar; Elaine e André; Elievam e Sofia; Flávio; Francisco; Gustavo Manzato; Marília; e Thaís Guerreiro) que inclui os IRMÃOS que a cidade de São Carlos me presenteou: André Cunha, Andrea Julia, Jorge Escalante, Márcia Lika, Tatiane Renata e Vanessa Yuassa (com a Kaori, é claro).

Aos meus amigos de graduação, que agora são companheiros de profissão. Em especial ao Ali Mohamed Jaha e ao Bruno Bertoncini (com quem ainda convivo nos corredores do STT). Também agradeço ao companheirismo de meus colegas de pós-graduação, bem representados aqui pelos nomes do Jesner e do Serginho.

Aos grandes amigos que deixei no Paraná: Fabrício Formonte Wako (meu irmão) e sua família, Fábio Picotti, Ed Pinheiro Lima e Lucyana Gonçalves.

Aos companheiros de república em São Carlos: Rafael, Daniel e Cassiano. E aos companheiros do grupo de vôlei da USP.

À família Duarte, em especial à professora Dra. Ruth de Gouvêa Duarte e ao professor Dr. Luiz Romariz Duarte (*in memoriam*) que me acolheram em seu lar e me fizeram sentir em casa com a participação em momentos marcantes de suas vidas. Pessoas que nunca quero que se afastem de minha vida.

Também agradeço às pessoas que me acolheram em suas empresas, me dando oportunidade de aprender ofícios e administrar minhas próprias finanças durante o ensino médio e a graduação: Luiz Mitsuo Mizuta, Sérgio Sakita e aos Engenheiros da Conterpavi (Giuseppe Leggi Jr., Alexandre e Dener).

Às demais pessoas que momentaneamente não me recordei e que, de certa forma, participaram e participam de minha vida.

RESUMO

COLELLA, D. A. T. **Comportamento de motoristas em interseções semaforizadas**. 2008. 143p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Esta pesquisa caracterizou o comportamento de motoristas em interseções semaforizadas sob três aspectos: (1) reação frente à mudança do verde para o amarelo; (2) comportamento durante a desaceleração para parar; e (3) comportamento durante a saída do cruzamento semaforizado. Os dados foram coletados em uma interseção localizada em pista de testes no *Virginia Tech Transportation Institute*, nos EUA. A amostra foi composta por 60 motoristas voluntários igualmente divididos em função do gênero; dos quais 32 tinham idade inferior a 65 anos ("jovens"). Foram investigados efeitos da idade, do gênero e da declividade da via sobre as seguintes situações: tomada de decisão entre parar ou prosseguir no amarelo; posição de parada em relação à faixa de retenção; tempo de percepção e reação (TPR) para frenagem e partida do cruzamento; efeito de zonas de opção e de dilema; taxa de desaceleração para parada na interseção; e taxa de aceleração para partida da interseção. As análises indicaram que: (1) os motoristas mais jovens invadiram mais a faixa de retenção que os idosos; (2) mulheres apresentam maiores TPR para decidir partir da interseção; e (3) o TPR é menor no declive tanto para a decisão de frear quanto para a partida do cruzamento. As taxas de desaceleração não apresentaram influência dos fatores avaliados. Por outro lado, constatou-se que a aceleração foi afetada pelo fator declividade. Como resultado final da pesquisa, foram propostos modelos, em função do tempo, que exprimem a desaceleração/aceleração usada pelos motoristas ao frear/acelerar. Foram propostos modelos para o motorista médio e para motoristas desagregados em três grupos em função da agressividade.

Palavras-chave: comportamento dos motoristas; interseções semaforizadas; tempo de percepção e reação; desaceleração; aceleração.

ABSTRACT

COLELLA, D. A. T. **Driver behavior at signalized intersections**. 2008. 143p. Thesis (M.A.Sc.) – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, SP, Brazil, 2008.

The objective of this research was to characterize driver behavior at signalized intersections according to three aspects: (1) reaction at the onset of the amber phase; (2) behavior during the deceleration to stop at the signal; and (3) behavior during the acceleration to leave the intersection at the onset of the green. The data were collected at a signalized intersection on a private highway, at the Virginia Tech Transportation Institute, in the USA. The sample consisted of 60 volunteer drivers, equally divided by gender. The sample was divided into two age groups: younger drivers (age was less than 65) and older drivers. Effects of gender, age group and roadway grade were investigated for the following aspects: decision making at the onset of amber; final stopping position with relation to the stop line; perception/reaction times (PRT) at the onset of the amber and the green lights; effects of dilemma and option zones; and deceleration and acceleration rates used by the drivers. The analyses suggest that: (1) younger drivers tend to stop farther past the stop line, compared to older drivers; (2) women have longer PRT at the onset of the green; and (3) PRT are shorter on downgrade at the onset of both amber and green lights. The observed deceleration rates were not affected by gender, age group or roadway grade. Acceleration rates were found to be influenced by the grade. A set of models that express the acceleration/deceleration rates as a function of time were proposed to represent the average behavior observed for drivers in the sample. Specific models were also proposed for aggressive, non-aggressive and intermediate drivers.

Keywords: driver behavior, signalized intersection, driver perception/reaction time, acceleration, deceleration.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. Meta e objetivos.....	10
1.2. Justificativa	11
1.3. Estrutura do Texto	13
2. MÉTODO	15
2.1. Revisão bibliográfica	15
2.2. Obtenção dos dados	16
2.3. Tratamento dos dados	18
2.3.1. Dados de desaceleração	19
2.3.2. Dados de aceleração.....	21
2.4. Comportamento dos motoristas	21
2.5. Inferências sobre o comportamento da amostra	22
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1. Comportamento dos motoristas	23
3.2. Tempo de percepção e reação	26
3.2.1. A Fase amarela.....	27
3.2.2. Atrasos em interseções.....	29
3.3. Zona de opção e zona de dilema.....	30
3.4. Desempenho dos veículos.....	34
3.4.1. Desaceleração	34
3.4.2. Modelo de desaceleração da AASHTO	36
3.4.3. Aceleração.....	36
3.4.4. Modelos de aceleração	38
3.4.5. Modelos de aceleração usados em simuladores de tráfego.....	43
4. COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS	46
4.1. Quantidade de paradas.....	47
4.2. Posição de parada em relação à faixa de retenção	50
4.2.1. Análise dos dados de posição de parada	54

4.3. Tempo de percepção e reação.....	55
4.3.1. Tempo de percepção e reação de desaceleração	55
4.3.2. Análise dos dados de tempo de percepção e reação na desaceleração	58
4.3.3. Tempo de percepção e reação de aceleração	59
4.3.4. Análise dos dados de tempo de percepção e reação na aceleração.....	61
4.4. Zona de opção e zona de dilema.....	61
4.5. Considerações finais	64
5. COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS NA DESACELERAÇÃO	68
5.1. Desaceleração	68
5.1.1. Análise dos dados de Desaceleração.....	71
5.1.2. Análise dos dados na desaceleração de 60 para 15 km/h.....	74
5.1.3. Modelo Matemático	76
5.2. Considerações finais	86
6. COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS NA ACELERAÇÃO	89
6.1. Aceleração	89
6.1.1. Análise dos dados de aceleração.....	91
6.1.2. Modelo matemático para a aceleração	95
6.2. Considerações Finais	110
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	114
7.1. Conclusões.....	114
7.1.1. Reação dos motoristas frente ao surgimento do amarelo.....	114
7.1.2. Comportamento dos motoristas durante a desaceleração	116
7.1.3. Comportamento dos motoristas durante a aceleração.....	117
7.2. Recomendações	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
ANEXOS	124

1. INTRODUÇÃO

Modelar o comportamento de veículos no tráfego rodoviário é tarefa complexa. São inúmeras as variáveis envolvidas que expressam a forma como um motorista dirige um carro. Por esse motivo, costuma-se utilizar uma quantidade restrita de variáveis para exprimir o comportamento dos motoristas, como o tempo de percepção e reação (TPR), a velocidade e a aceleração. A determinação dos valores para esses parâmetros comumente é feita a partir de coletas de campo, em situações específicas de condições da via e de tráfego. Esses valores podem ser usados para calibração e validação de simuladores de tráfego.

As interseções semaforizadas apresentam alternância do direito de passagem entre motoristas de vias que se cruzam. Quando defrontados com a mudança do verde para o amarelo, nesses locais, os motoristas devem decidir entre parar ou prosseguir. O processo de tomada de decisão, nesses casos, é influenciado por fatores como velocidade de aproximação, distância para a faixa de retenção, capacidade de frenagem do veículo e taxa de desaceleração confortável.

A idade e o gênero do motorista e os elementos geométricos do projeto da via estão entre os principais fatores que influenciam a tomada de decisão. Nos Estados Unidos, metade dos acidentes envolvendo motoristas com idade superior a 80 anos ocorre em interseções (FHWA, 2001). Geralmente, percebe-se que idosos possuem maior tempo de percepção e reação e usam menores taxas de aceleração e desaceleração do que motoristas mais jovens que, por sua vez, são comumente apontados como mais agressivos. Quando a análise é feita por gênero, as mulheres costumam ser mais cautelosas e prudentes, em relação a homens de mesma faixa etária (ITE, 1992; FHWA, 2005; Hicks *et al.*, 2005).

1.1. Meta e objetivos

A meta global desta pesquisa é caracterizar o comportamento de motoristas em cruzamentos semaforizados, bem como propor modelos matemáticos que representem o comportamento observado em interseções. Para tanto, as metas estabelecidas consistem na obtenção e análise dos parâmetros que caracterizam o comportamento de motoristas em cruzamentos semaforizados, sob três aspectos: (1) reação frente à mudança do verde para o amarelo; (2) comportamento durante o processo de desaceleração; e (3) comportamento durante o processo de aceleração, quando a indicação muda de vermelho para verde.

Para atingir a meta foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Análise da reação dos motoristas na mudança do verde para o amarelo, considerando:
 - a. a decisão entre parar ou prosseguir e a influência de zona de opção ou zona de dilema nessa decisão;
 - b. o tempo de percepção e reação em função da distância para o cruzamento no instante da mudança de fase e o tempo perdido médio até o fim do amarelo; e,
 - c. os efeitos de fatores como declividade da via, idade e gênero do motorista sobre o processo decisório e zona de dilema na mudança de fase.
2. Análise do comportamento dos motoristas durante o processo de frenagem no semáforo, em função de fatores como distância até o cruzamento no momento do início da frenagem, declividade da aproximação, idade e gênero, com vistas a determinar:
 - a. a desaceleração média aplicada ao veículo, com o objetivo de propor um modelo matemático que exprima a desaceleração durante o processo de frenagem, verificando a porcentagem da máxima desaceleração possível usada;
 - b. a distância percorrida durante a frenagem e a posição final do veículo em relação à faixa de retenção; e,

- c. uma classificação geral dos motoristas em função do seu comportamento (ou grau de agressividade) e obtenção de valores representativos de desaceleração da amostra e para cada grupo estudado.
3. Análise do comportamento dos motoristas durante o processo de aceleração no início do verde, em função da posição do carro em relação à faixa de retenção, à declividade da via, à idade e ao gênero, considerando:
- a. o tempo médio de percepção e reação no início do verde;
 - b. a aceleração média observada, tendo por objetivo propor um modelo matemático que exprima a aceleração durante o processo de partida da fila do semáforo, em função da máxima aceleração possível; e,
 - c. uma classificação geral dos motoristas em função do comportamento (ou grau de agressividade) apresentado, propondo valores representativos de aceleração e de tempo perdido no início do verde para a amostra e para cada grupo estudado.

Para a realização dessas análises, foi usado um conjunto de dados referente a uma amostra de 60 motoristas observados enquanto dirigiam um veículo instrumentado num cruzamento semaforizado localizado na pista de testes do *Virginia Tech Transportation Institute*, nos EUA.

1.2. Justificativa

Compete aos engenheiros de transportes o projeto, o planejamento e a operação das interseções. Para isso, têm a obrigação de entender e considerar o comportamento dos motoristas em relação às suas capacidades de percepção, reação e segurança. Devem, também, atentar-se à não homogeneidade das características dos usuários da via e que grupos específicos, seja em função da idade, do gênero ou de outros fatores, possuem elevados índices de envolvimento em colisões.

Uma das maneiras de estudar os fenômenos que ocorrem nas interseções semaforizadas é a obtenção e análise de dados coletados em campo. Assim, é possível caracterizar o comportamento dos motoristas com dados referentes à taxa de desaceleração na frenagem, à distância de parada do veículo em relação à faixa de retenção, ao tempo de percepção e reação, à taxa de aceleração na mudança de fase do vermelho para o verde e ao processo de aceleração até o instante em que é atingida a velocidade desejada.

As aquisições dos dados em campo podem ser feitas com observações à distância ou com o auxílio de veículos instrumentados. Nas observações à distância, os motoristas podem ou não estar cientes de estarem sendo observados, uma vez que seus veículos não sofrem qualquer tipo de intervenção do pesquisador. A coleta de dado à distância sem o conhecimento prévio dos motoristas e sem instrumentação nos veículos é denominada naturalística. Nas situações em que o motorista tem consciência de ser monitorado, geralmente, são observados valores mais conservadores do que os obtidos naturalmente, isto é, sem terem conhecimento de que estão sendo observados (Green, 2000¹ apud Setti *et al.*, 2006).

É possível estudar a variação no comportamento de grupos de motoristas expostos a diferentes situações a partir da aquisição de dados com veículos instrumentados. Esses dados fornecem aos Engenheiros de Transportes condições de melhorar a segurança e a fluidez do tráfego. Estudos em simuladores também podem ser feitos com os dados obtidos em campo para estimar o comportamento dos motoristas, o nível de serviço em que a via opera, o consumo de combustível, as emissões de poluentes dos veículos, etc. (FHWA, 2004; Sultan *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2004; Kulkarni, 2006).

¹ GREEN, M. (2000). "How long does it take to stop?" Methodological analysis of driver perception-brake times, *Transportation Human Factors*, vol. 2, p. 195–216.

Coletas de campo permitem gerar modelos que representam o comportamento dos motoristas em diferentes situações e com diferentes características pessoais (como o gênero, a idade e a agressividade). Modelos matemáticos obtidos de coletas de campo podem ser aplicados em simuladores de tráfego. A inclusão desses modelos nos simuladores de tráfego tornam os resultados gerados mais próximos ao real, melhorando as possibilidades de análise e permitindo que as decisões sobre a gestão do tráfego sejam tomadas de maneira eficiente.

1.3. Estrutura do Texto

O presente trabalho está organizado em sete capítulos, iniciando-se por esse capítulo introdutório. No capítulo dois é apresentado o método proposto para desenvolvimento desta pesquisa. O terceiro capítulo se constitui da revisão bibliográfica com a apresentação de estudos relacionados ao tema, abordando assuntos referentes ao comportamento dos motoristas ao chegar e partir de interseções semaforizadas.

O quarto capítulo apresenta as primeiras análises sobre o comportamento dos motoristas avaliados nessa pesquisa e estudos sobre a existência da diferença entre grupos de motoristas separados em função dos fatores idade, gênero e declividade. São avaliadas as quantidades de paradas observadas em relação à quantidade de passagens diretas de motoristas que receberam a indicação da fase e a posição de parada em relação à faixa de retenção. Ainda no capítulo quatro, é estudado o tempo de percepção e reação dos motoristas para decidir frear ou acelerar. O capítulo encerra-se com análises sobre zona de opção e zona de dilema para o estudo de caso proposto e as implicações que essas situações causam no comportamento dos motoristas.

Os capítulos cinco e seis apresentam o comportamento e modelagem da aceleração usada pelos motoristas para parar e partir da interseção. No capítulo cinco é feita análise e comparação dos motoristas em função dos fatores idade, gênero e declividade em relação à sua máxima taxa de desaceleração para parar (após a indicação da fase semafórica amarela), seguido da apresentação de um modelo matemático com vistas a representar, no tempo, o comportamento de desaceleração dos motoristas durante a frenagem. O capítulo seis possui a mesma abordagem do capítulo cinco, porém, nele são tratados os dados de aceleração dos motoristas na partida da interseção – após a indicação semafórica verde.

Por fim, o capítulo sete traz as conclusões dessa pesquisa e recomendações para pesquisas futuras. Com relação aos anexos, os anexos I e II apresentam os dados do veículo e da via usados na pesquisa, respectivamente; os anexos III e IV apresentam os modelos de regressão para as passagens observadas na pista de teste na desaceleração e na aceleração, respectivamente.

2. MÉTODO

Este trabalho visa analisar o comportamento dos motoristas nos processos de percepção e reação, desaceleração e aceleração em interseções semaforizadas. Para isso usam-se dados coletados em uma pista de testes, com auxílio de um veículo instrumentado. A pesquisa realizada consiste das seguintes etapas:

1. *Revisão bibliográfica;*
2. *Obtenção dos dados;*
3. *Tratamento dos dados;*
4. *Análise do comportamento dos motoristas; e*
5. *Inferências sobre o comportamento dos motoristas e obtenção dos modelos matemáticos.*

Nos próximos itens, são descritas cada uma das etapas do método de pesquisa adotado.

2.1. Revisão bibliográfica

Foram estudados assuntos como o comportamento dos motoristas, as zonas de opção e dilema e o desempenho dos veículos. Os textos referenciados são encontrados, principalmente, no acervo da Biblioteca Central da EESC-USP, em arquivos digitais do *Transportation Research Board* (TRB) e na base de dados interligada da USP com outras instituições de ensino (nacionais e internacionais).

Entre os principais objetivos dessa etapa, incluem-se: estudar a literatura que trata do comportamento de motoristas em interseções semaforizadas e as características que o influenciam; estudar trabalhos anteriores sobre zonas de opção e de dilema e pesquisar os modelos de desaceleração e aceleração usados para representar o comportamento dos motoristas em interseções semaforizadas.

2.2. Obtenção dos dados

Os dados usados neste estudo foram coletados em 2005, no *Virginia Tech Transportation Institute*, nos EUA, num estudo que visava analisar o comportamento dos motoristas frente a um sistema de alerta sobre avanço do sinal vermelho. O sistema testado avisa os motoristas que se aproximam do cruzamento no verde da chegada de um veículo alta velocidade pelas aproximações com vermelho. No experimento, os motoristas passam por um cruzamento semaforizado diversas vezes, até receberem o alerta do sistema de aviso. O objetivo principal do experimento era observar seu comportamento frente ao alerta, em termos do tempo de percepção e reação e da sua atitude. Como os motoristas observados encontravam um número significativo de mudanças de fase do verde para o amarelo, o conjunto de dados também possibilita a análise do seu comportamento no início do amarelo.

Nesta coleta de dados foram observados 60 motoristas voluntários, enquanto dirigiam um veículo instrumentado em uma rodovia particular, fechada ao tráfego normal. A forma de obtenção dos dados pode gerar resultados que não refletem exatamente a realidade dos motoristas em situações cotidianas, porém, a base de dados permite uma aproximação da maneira como os fenômenos relacionados ao comportamento dos motoristas chegando e partindo de interseções semaforizadas ocorrem.

A Figura 2.1 apresenta, no sentido horário, o veículo, o sistema de aquisição de dados (DAS) nele instalado, o controlador semafórico e o cruzamento semaforizado na rodovia. Informações adicionais sobre características da via *Smart Road* e do Chevrolet Impala são fornecidas nos anexos I e II, respectivamente.

Figura 2.1 - Veículo, equipamentos e cruzamento para a coleta dos dados

A amostra de motoristas utilizada ($N = 60$) foi composta de dois grupos, um com idade inferior a 65 anos (32 indivíduos) e outro com idade igual ou superior a 65 anos (28 indivíduos), com igual divisão entre gênero, conforme se observa na Tabela 2.1. Os grupos de pessoas jovens e idosas possuem idade média de 40 e 71 anos, respectivamente (El-Shawarby *et al.*, 2006; Kulkarni, 2006).

Tabela 2.1 - Divisão da amostra de motoristas estudados por gênero e idade

Gênero	Idade	
	< 65 anos	≥ 65 anos
Masculino	16	14
Feminino	16	14

O cruzamento usado nos testes localiza-se num trecho de rodovia de pista simples de 2,6 km de extensão, com retornos em cada extremidade e com declividade média de 3%. Os participantes, após familiarizarem-se com o veículo de testes, foram instruídos a dirigir normalmente pela pista, mantendo uma velocidade de 72 km/h (45 mi/h). Para a coleta de dados, cada participante dirigiu 12 vezes pelo circuito de 2,6 km, passando 24 vezes pelo cruzamento semaforizado. Durante a coleta de dados, o veículo de testes trafegava sozinho pela pista. A mudança do verde para o amarelo, quando o veículo se aproximava do cruzamento, dava-se em função da distância do veículo à faixa de retenção. O tempo de amarelo usado foi de 4 s. A posição do veículo era

determinada por GPS diferencial (precisão de 1,5 cm) e, quando o carro atingia uma distância predeterminada, o controlador acionava a mudança de fase.

Cada motorista foi submetido a um conjunto diferente de distâncias de ativação do amarelo (DAA). As distâncias de ativação do amarelo escolhidas foram 32, 55, 66, 88 ou 111 m da faixa de retenção. Nas 24 passagens pelo cruzamento, cada participante defrontou-se com quatro mudanças de fase em cada distância de ativação da fase amarela, totalizando 20 ativações do amarelo, e encontrou verde em quatro passagens pelo cruzamento. Após o amarelo, o tempo de vermelho foi superior a 10 segundos para, então, ocorrer a mudança de fase do vermelho para o verde. Informações mais detalhadas sobre a coleta de dados podem ser obtidas em Rakha *et al.* (2007).

Ao final de cada teste individual, em um total de 60, o sistema de aquisição de dados (DAS) havia coletado e armazenado informações sobre: posição do veículo em relação à faixa de retenção, distância viajada no último décimo de segundo, velocidade e aceleração instantânea, porcentagem do curso do pedal do acelerador e do freio, distância para ativação do amarelo, contador do número da passagem pela interseção (de 1 a 24), identificação do motorista (para controle de gênero e idade), indicação semafórica, tempo decorrido desde o início do amarelo etc., totalizando 78 seqüências de dados capturados pelo DAS. Esses dados coletados necessitaram de tratamento para se adequar às condições necessárias para as análises, conforme descrito no tópico a seguir.

2.3. Tratamento dos dados

Como cada um dos 60 motoristas passou pela interseção 24 vezes, ocorreram 1.440 passagens. Dessas, um sexto (240) foi com verde e as demais (1.200) com amarelo ativado em uma das cinco diferentes distâncias de ativação da fase amarela (DAA).

Inicialmente, foram separados os dados das passagens diretas, sem parar, dos dados dos casos em que os motoristas pararam quando se defrontados com a indicação do amarelo. Em seguida, foi aplicada uma suavização aos dados, com filtro média móvel de janela igual a 21, considerando os 10 décimos de segundo anteriores e posteriores ao décimo de segundo analisado, para eliminação de ruído.

Após a suavização, os dados foram estratificados em função da distância de ativação da fase amarela e agrupados em função da idade (inferior a 65 anos e igual ou superior a 65 anos), gênero (masculino ou feminino) e declividade (aclive ou declive) para permitir a análise da influência desses fatores no comportamento dos motoristas. O estudo da influência desses fatores foi feito com o teste ANOVA de fator único com hipótese nula de que não há diferença entre os grupos avaliados. A seguir são descritos os procedimentos adotados para seleção e tratamento dos dados nos casos das desacelerações e acelerações.

2.3.1. Dados de desaceleração

Identificação das paradas

O início da frenagem foi estabelecido como o instante em que o motorista aplica uma pressão no pedal do freio que provoca um deslocamento superior a 5% de seu curso, após o início da fase amarela. A parada foi definida como o instante no qual a velocidade é igual ou menor do que 3,6 km/h. Caso os limites de pressão do pedal do freio e velocidade final fossem observados, a passagem analisada era selecionada, copiada e transferida para planilha específica em função da distância de ativação da fase amarela à qual o motorista foi sujeito (32, 55, 66, 88 ou 111 m).

Identificação dos dados de tempo de percepção e reação e de desaceleração

Nas novas planilhas, geradas em função das distâncias de ativação da fase amarela, os dados das paradas tiveram marcados os seguintes instantes: mudança do verde para o amarelo; pedal do freio com mais de 5% de seu curso pressionado; e velocidade do veículo inferior a 3,6 km/h. A identificação desses instantes foi feita automaticamente pela planilha eletrônica, mas todos os dados marcados foram checados manualmente, para eliminar possíveis erros cometidos pela macro usada.

Para exemplificar a geração de dado pela lógica usada que não indicou o exato momento em que o motorista decidiu parar, pode-se citar o comportamento de alguns motoristas que aplicavam uma primeira pressão no pedal do freio, seguido da retirada da pressão e nova decisão de pressionar o pedal do freio – gerando dois dados com movimento superior a 5% do curso do pedal do freio. Nessa situação, admite-se que somente no segundo instante o motorista decidiu parar, uma vez que o primeiro momento ainda pertence ao tempo de percepção e reação.

Uma macro em *Visual Basic for Applications* (VBA) auxiliou a preparação dos dados para análise. A partir da identificação de cada parada, a macro separou os dados em novas planilhas que facilitam a obtenção dos perfis de desaceleração e velocidade de cada passagem dos motoristas pela interseção. Assim, com os pontos de início e fim de cada variável foi possível determinar, além da desaceleração do veículo, o tempo de percepção e reação, a posição de parada em relação à faixa de retenção e o tempo necessário para cada motorista parar.

2.3.2. Dados de aceleração

Para a aceleração, foram marcados os dados entre a mudança do vermelho para o verde e o último instante em que houve a coleta de dados, que correspondia a uma distância de 500 pés (152,4 m) do cruzamento. Na maioria dos casos não houve tempo suficiente para a retomada da velocidade de aproximação (72 km/h). Por não haver separação em função da distância de ativação da fase amarela na partida da interseção – todos os motoristas partiram do mesmo referencial – os dados foram agrupados em uma única planilha.

Identificação dos dados de tempo de percepção e reação e de aceleração

No arquivo que reuniu os dados de aceleração uma macro em VBA marcou os seguintes instantes: em que houve mudança da fase vermelha para a verde; no qual o pedal do acelerador passou a ter mais de 5% de seu curso pressionado; e quando a velocidade máxima era atingida. A conferência manual também foi realizada para eliminar possíveis erros gerados pela macro. Os dados das paradas foram organizados pela mesma macro em VBA, facilitando obter, além da aceleração, o tempo de percepção e reação e o tempo de aceleração.

2.4. Comportamento dos motoristas

Para as análises da decisão dos motoristas entre parar ou seguir na interseção, dos tempos de percepção e reação e das taxas de desaceleração e aceleração, foram utilizados os dados dos motoristas que pararam na interseção após a mudança de fase para amarelo. Foram considerados todos os indivíduos em função das características de sexo, idade e declividade da via.

Na análise geral e nas análises entre grupos, em função dos três fatores analisados, estudou-se: a diferença entre a quantidade de motoristas que pararam, os efeitos no tempo de percepção e reação na parada e partida da interseção, a zona de opção e de dilema, a posição de parada do veículo em relação à faixa de retenção e as taxas de desaceleração e aceleração. Essas análises tiveram auxílio de testes estatísticos, como ANOVA, qui-quadrado (χ^2), Kruskal-Wallis, Mann-Whitney e por análise de diagramas *velocidade x tempo* e *aceleração x tempo*.

2.5. Inferências sobre o comportamento da amostra

As inferências sobre o comportamento típico observado foram feitas a partir da média, da mediana e do 85º percentil das variáveis estudadas, como as desacelerações, acelerações e o tempo de percepção e reação.

Para a desaceleração e aceleração são apresentados modelos matemáticos que exprimem o comportamento médio dos motoristas em um único grupo e em função de possíveis grupos em que houve diferença estatística para os fatores idade, gênero ou declividade. Estes modelos poderiam ser expressos em função de um único fator ou da combinação de fatores como o tempo de percepção e reação, a desaceleração, a aceleração ou outros fatores relevantes, identificados nas análises. Nesta pesquisa, optou-se pelo uso da aceleração e pela distância de ativação da fase amarela (DAA) para criar os modelos que representam os motoristas. Para atingir tal objetivo foram usados programas computacionais de estatística, como o *Statística* ou suplementos estatísticos para a planilha eletrônica *Excel*, como a própria ferramenta “análise de dados” do *Excel* ou o suplemento PHStat2 (Levine, 2005).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O cenário estudado nesta pesquisa é o de uma interseção semaforizada, na qual há alteração de prioridade de passagem entre duas vias e necessidade de instalação de semáforo para seu controle. São relatados neste capítulo aspectos sobre: comportamento dos motoristas em interseções semaforizadas; tempo de percepção e reação para início do processo de desaceleração e início do processo de aceleração; zonas de opção e zonas de dilema; e desempenho dos veículos.

3.1. Comportamento dos motoristas

A condução do veículo pelo motorista está ligada a elementos inerentes aos seres humanos e a fatores que fazem parte do ambiente externo, conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Fatores que influenciam no comportamento dos motoristas em interseções

Fatores inerentes aos seres humanos (FHWA, 2004)	Fatores externos (FHWA, 2005)
<ul style="list-style-type: none"> • acuidade visual; • facilidade no processamento de informações; • hábito de direção; • conhecimento da via; • memória; • idade; e • gênero. 	<ul style="list-style-type: none"> • presença de outros motoristas; • tráfego intenso; • grandes atrasos nas interseções; • condições climáticas; • má visibilidade; • ofuscamento de visão; e • más condições das vias e geometria das interseções.

Pesquisas que analisam o comportamento dos motoristas tendem a fazer comparações entre gênero e faixas etárias. Estudos que agrupam faixas etárias geralmente consideram grupos de motoristas jovens ou idosos (Shinar e Compton, 2004; El-Shawarby *et al.*, 2006; Inman *et al.*, 2006; Kaise e Abbany, 2006); por vezes uma tercei-

ra faixa etária é criada com motoristas de idade intermediária (Caird *et al.*, 2005; Hicks *et al.*, 2005). Há, ainda, a divisão de grupos de motoristas em função da agressividade (Shinar e Compton, 2004; Hicks *et al.*, 2005).

Nas análises por gênero, em interseções semaforizadas, os estudos sugerem que as mulheres são significativamente mais prudentes que homens; as mulheres jovens possuem o mesmo nível de respostas à mudança de sinalização da interseção dos homens de meia idade; e as ações agressivas são mais comuns em motoristas homens e jovens (ITE, 1992; Shinar e Compton, 2004; FHWA, 2005; Hicks *et al.*, 2005; El-Shawarby *et al.*, 2006).

Shinar e Compton (2004) identificaram diferenças significativas entre gêneros em estudo naturalístico feito em Israel. Esse estudo buscou identificar comportamento agressivo em 7.200 motoristas. A agressividade dos motoristas foi relacionada aos atos de mudança de uma ou múltiplas faixas de tráfego, toque da buzina e ultrapassagem pelo acostamento. Os dados foram estratificados por gênero, idade aparente e presença de passageiros. Ao final, identificou-se comportamento agressivo em mais de 2.000 motoristas. A maioria dos procedimentos agressivos partiu de motoristas homens (86,3%) sem passageiros (64,5%).

Em relação à análise vinculada à idade dos motoristas, à medida que a idade do condutor aumenta, a velocidade média de percurso e a agressividade tendem a diminuir, pois os motoristas de maior idade geralmente são mais cautelosos e analisam melhor a situação ao seu redor para tomar decisões (ITE, 1992; Shinar e Compton, 2004; FHWA, 2005). O trabalho realizado pelo FHWA (2001), nos EUA, determinou as princi-

país causas de falhas e a má tomada de decisão em interseções em função da idade, conforme apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Principais causas de falhas e má tomada de decisão nas interseções, em função da idade

Jovens	Idosos
<ul style="list-style-type: none"> • dificuldade no julgamento de sua velocidade; • desatenção para objetos ou veículos próximos; • inobservância de informações relevantes; • dificuldade de assimilar muitas informações simultaneamente; e • subestimação dos riscos de colisão. 	<ul style="list-style-type: none"> • acuidade visual comprometida; • dificuldade de leitura de símbolos na via; • dificuldade de tomar decisões em interseções; • dificuldade de seguir as marcas no pavimento; e • elevado tempo de resposta aos sinais de tráfego.

Fonte: FHWA (2001)

No estudo realizado por Caird *et al.* (2005) foi utilizado um simulador de direção para avaliar a influência do fator idade nas interseções semaforizadas. O cenário utilizado no simulador era composto de uma sequência de 36 interseções semaforizadas. O instante da mudança do verde para o amarelo ocorreu em função de seis tempos pré-determinados para chegada dos motoristas até a faixa de retenção. Cada um desses seis tempos foi aleatoriamente acionado duas vezes, de tal forma que cada motorista encontrava 12 interseções com mudança de fase do verde para o amarelo. Os resultados mostraram que houve diferença estatisticamente significativa entre o comportamento do grupo formado por motoristas idosos em relação aos dos grupos formados por motoristas jovens e de idade intermediária.

Liu (2007) realizou coleta de campo e avaliou, naturalisticamente, o comportamento de 1.538 motoristas. Ao final, observou que motoristas mais novos têm maior propensão em apresentar velocidades maiores que motoristas mais idosos. A idade foi avaliada visualmente e os motoristas mais novos foram os que aparentaram menos de 55 anos.

Caird *et al.* (2007) concluíram que os motoristas com idade superior a 65 anos têm maiores dificuldades em deixar a interseção antes do início da fase verde para os veículos da aproximação conflitante. Cabe ressaltar que Hicks *et al.* (2005) observaram que 86% dos motoristas que decidiram passar e 88% dos que decidiram parar adotaram o comportamento esperado.

3.2. Tempo de percepção e reação

O tempo de percepção e reação (TPR) define-se como o período de tempo decorrido durante o processo de identificação de uma ou várias informações e o início do procedimento relativo à decisão tomada pelo motorista. Nas interseções semaforizadas o tempo de percepção e reação pode ocorrer no tempo necessário para o motorista decidir entre parar ou prosseguir na mudança do verde para o amarelo e no início da fase verde, quando o motorista deve reiniciar seu movimento.

O tempo de percepção e reação é facilmente afetado por fatores inerentes aos seres humanos e por fatores externos, conforme apresentado na Tabela 3.1. Um comportamento esperado é que motoristas mais jovens possuam tempos de percepção e reação menores quando comparado com motoristas idosos não habituados à situação (Harwood, 1996; Roess *et al.*, 1998; FHWA, 2004; Hicks *et al.*, 2005).

Para representar os motoristas, comumente se adota o valor do 85º percentil do tempo de percepção e reação observado em campo (Roess *et al.*, 1998). A Tabela 3.3 (Caird *et al.*, 2005) exhibe valores de tempo de percepção e reação encontrados na literatura. Após estudo avaliando o comportamento dos motoristas, Caird *et al.* (2007) concluíram que o valor proposto pelo ITE para o tempo de percepção e reação (1,0 s) é suficiente para representar os motoristas na aproximação da interseção.

Tabela 3.3 - Valores de tempo de percepção e reação (TPR) obtidos na literatura

Estudo (ano)	Tipo de Estudo	TPR médio (s)	Intervalo de Variação (s)	Mediana (s)	85º Percen- til (s)
Gazis <i>et al.</i> (1960)	Observação	1,14	0,6 – 2,4	1,10	1,50
Crawford (1962)	Experimental, em pista de testes	-	0,8 – 1,85	-	-
Wortman e Matthias (1983)	Observação, em Campo	1,30	1,09 – 1,55	-	1,80
Chang <i>et al.</i> (1985)	Observação, em Campo	1,3 (V<40 mi/h) 0,9 (V>40 mi/h)	0,70 – 1,55	1,10 (V<40 mi/h) 0,90 (V>40 mi/h)	1,90
Mussa <i>et al.</i> (1996)	Experimental, em simulador	1,16	-	-	-
Caird <i>et al.</i> (2004)	Experimental, em simulador	0,96	0,50 – 2,20	0,92	1,22

Fonte: Caird *et al.* (2005)

A seguir, serão discutidos outros fatores que influenciam diretamente a tomada de decisão dos motoristas nas interseções quando da mudança da fase semaforica verde para a amarela.

3.2.1. A Fase amarela

A finalidade da fase amarela é alertar os motoristas para a iminência do vermelho, permitindo-lhes decidir se é mais seguro parar ou prosseguir pela interseção. Os motoristas devem, sempre que possível, iniciar o procedimento de parada quando receberem a indicação amarela do semáforo; a exceção ocorre nos casos em que houver risco aos veículos que o seguem ou tempo suficiente para, com segurança, transpor a interseção durante a fase amarela. O tempo de entreverdes deve considerar o tempo de amarelo adicionado de um possível tempo de vermelho total, cujo propósito é esvaziar o cruzamento antes do início do verde da outra aproximação (Easa, 1993).

A decisão de prosseguir ou parar está diretamente relacionada à velocidade do veículo, pois quanto maior a velocidade, menor a chance de parada, considerada a mesma distância para a faixa de retenção (Gazis *et al.*, 1960; Milazzo *et al.*, 2002; Haas *et al.*, 2004; El-Shawarby *et al.*, 2006).

A duração da fase amarela geralmente é vinculada ao tempo que 85% a 90% dos motoristas conseguem, com segurança, parar antes da faixa de retenção ou transpor a via (Parsonson, 1978). No caso de transposição da via, o cálculo do amarelo pode ser obtido da equação (ITE, 1992; Pant e Cheng, 2001; Haas *et al.*, 2004):

$$y = t + \frac{V}{2 \cdot a} \quad (3.1)$$

sendo y : tempo de amarelo (s);
 t : tempo de percepção e reação (s);
 V : velocidade de aproximação (m/s); e
 a : taxa de desaceleração (m/s²).

No tempo total de mudança de fase pode ser adicionado um tempo de vermelho total para que os veículos deixem a interseção, conforme a equação (Pant e Cheng, 2001):

$$r = \frac{W + L}{V} \quad (3.2)$$

sendo r : tempo de vermelho total (s);
 W : largura da interseção (m);
 L : comprimento do veículo (m); e
 V : velocidade de aproximação (m/s).

Easa (1993) estudou uma alternativa de evolução do método proposto por Gazis *et al.* (1960) para determinação do tempo de entreverdes e melhoria da operação de

uma interseção semaforizada. Em seu trabalho, Easa (1993) apresenta um método probabilístico para cálculo do entreverdes, conforme a equação:

$$I = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A} \quad (3.3)$$

sendo I : entreverdes; e
 A, B e C : parâmetros do modelo que dependem de fatores como médias, variâncias e correlações de fatores como a velocidade, a desaceleração, o comprimento do veículo e a largura da interseção.

3.2.2. Atrasos em interseções

Para maior fluidez do tráfego, os atrasos em interseções devem ser mínimos. O atraso total em interseções é o tempo adicional gasto pelo motorista para desacelerar, parar e acelerar em relação ao tempo que gastaria se realizasse a passagem pela interseção diretamente, conforme mostrado na Figura 3.1. O valor do atraso na interseção é elemento fundamental para determinar o nível de serviço de operação da interseção utilizando o método proposto pelo HCM – *Highway Capacity Manual* (Quiroga e Bullock, 1999; TRB, 2000; Mousa, 2003).

Figura 3.1 - Diagrama esquemático dos atrasos ocorridos em interseções

Fonte: Quiroga e Bullock (1999)

Mousa (2003) avaliou o impacto do comprimento do ciclo semafórico, da velocidade de aproximação e do grau de saturação nos atrasos dos veículos em 48 interseções. Ao final, determinou que os atrasos devidos à desaceleração e aceleração são diretamente proporcionais ao comprimento do ciclo e ao grau de saturação e inversamente proporcionais à velocidade de aproximação.

3.3. Zona de opção e zona de dilema

Um motorista que se aproxima de um cruzamento semaforizado no instante em que ocorre a mudança do verde para o amarelo é obrigado a decidir entre parar ou prosseguir. Esta decisão é influenciada pela velocidade inicial do veículo, pelo tempo de percepção e reação (TPR) do motorista, pela distância até o cruzamento, pela distância mínima de frenagem, entre outros aspectos (Tarko *et al.*, 2006; Papaioannou, 2007). Em função da velocidade de aproximação pode haver uma zona de opção (ZO) ou uma zona de dilema (ZD). A zona de opção é o trecho de via no qual o motorista pode tanto parar como prosseguir e cruzar a interseção com segurança, durante o tempo de amarelo disponível. A zona de dilema é definida como o trecho de via no qual o motorista não pode nem passar e nem parar com segurança durante o amarelo, uma vez que a distância é insuficiente para frear com segurança e não há condições de transpor totalmente a interseção antes da fase vermelha na velocidade de aproximação.

Estar em uma zona de opção não acarreta riscos ao motorista; mas, uma zona de dilema, entretanto, representa ao motorista uma região potencialmente insegura. Na Figura 3.2 é mostrado um trecho de via onde há uma zona de opção no momento da mudança do verde para o amarelo. Considerando o veículo na região (a), o motorista deve parar, pois tem distância suficiente para frear com segurança e não conseguiria atravessar o cruzamento completamente antes do início do vermelho. No caso (c) o veí-

culo encontra-se dentro de uma zona de opção, pois tanto pode passar ou parar com segurança e, independentemente da decisão que adotar, o condutor terá feito a escolha certa. No caso (b) o motorista deve prosseguir, pois a distância até a faixa de retenção é insuficiente para uma frenagem segura.

Figura 3.2 - Situações esquemáticas com ocorrência de zona de opção (veículo em c) ou zona de dilema (veículo em d)

Gazis *et al.* (1960) apresentaram um dos primeiros estudos sobre o comportamento de motoristas quando a luz amarela do semáforo aparece. O estudo introduziu o conceito de zona de dilema (ZD), que pode ser definida como a região na qual os motoristas não têm distância suficiente para frear com segurança nem conseguem transpor totalmente a interseção antes do final da indicação de amarelo ou vermelho geral (Sheffi e Mahmassani, 1981). O caso (d) na Figura 3.2 demonstra a região para veículos que encontram uma zona de dilema e o veículo está dentro de uma região em que não pode nem passar nem parar com segurança.

A partir de então, outros pesquisadores, como Mahalel e Prashker (1987), McCoy e Pesti (2003) e El-Shawarby *et al.* (2006), também observaram que motoristas próximos às interseções semaforizadas, geralmente com altas velocidades de aproximação, não têm distância suficiente para frear com segurança nem possuem condições de transpor totalmente a interseção antes do início do vermelho, encontrando-se dentro de uma zona de dilema. Tarko *et al.* (2006) sugerem que, para diminuir a quantidade de

motoristas expostos à esse tipo de zona de dilema, seja feita a extensão do tempo de verde.

Além da definição de zona de opção proposta por Gazis *et al.* (1960), existe outra, baseada no ponto de vista dos motoristas, na qual a zona de dilema existe no intervalo em que a probabilidade de parada dos veículos varia de 10% a 90% (Pant e Cheng, 2001; Millazzo *et al.*, 2002; McCoy e Pesti, 2003; Pant *et al.*, 2005; El-Shawarby *et al.*, 2006; Tarko *et al.*, 2006). Este enfoque remete à definição do oposto da zona de dilema, a zona de opção (ZO), na qual o motorista tanto pode parar sem invadir o cruzamento como prosseguir e sair da interseção antes do início do vermelho (El-Shawarby *et al.*, 2006; Papaioannou, 2007).

Numa zona de dilema, se o motorista resolver parar, pode ocorrer uma colisão traseira (caso algum veículo o siga muito próximo e não consiga aplicar uma taxa de desaceleração similar ou superior à aplicada pelo primeiro veículo) ou uma colisão transversal, pois o motorista que decide frear frequentemente invade a interseção. Se optar por prosseguir, pode ocorrer uma colisão transversal, pois não é possível sair da interseção antes do início do vermelho.

A ocorrência de zonas de dilema é algo indesejável e costuma ocorrer apenas quando se trafega em velocidade maior que a permitida ou a velocidade usada na determinação dos parâmetros semafóricos é menor que a velocidade dos veículos na aproximação. A observação de acelerações durante o amarelo, passagens na fase vermelha, paradas abruptas, tempo de percepção e reação elevado ou baixas taxas de desaceleração no comportamento dos motoristas são indícios de que, possivelmente, existe uma zona de dilema (Milazzo *et al.*, 2002; Pant *et al.*, 2005).

A decisão de parar no aparecimento do amarelo depende da velocidade do veículo, do tempo de percepção e reação do motorista e da taxa de desaceleração; a decisão de prosseguir depende da distância para transpor a interseção e da velocidade do veículo. Pant *et al.* (2005) observaram que, na decisão por passar e aproveitar o amarelo, por vezes alguns motoristas aceleram seus veículos, excedendo o limite de velocidade da via.

A distância mínima necessária para parar com segurança pode ser calculada pela equação (Papaioannou, 2007):

$$SSD = V \cdot \delta + \frac{V^2}{2g(f \pm m)} \quad (3.4)$$

sendo SSD : distância mínima do cruzamento para frenagem com segurança (m);
 V : velocidade de aproximação do veículo (m/s);
 δ : tempo de percepção e reação do motorista (s);
 f : coeficiente de atrito pneu-pavimento;
 m : declividade da via; e
 g : aceleração da gravidade.

Caso a distância até o cruzamento seja muito grande o veículo não será capaz de atravessar o cruzamento com segurança antes do início do vermelho, mantendo a velocidade de aproximação. A distância máxima dentro da qual é possível atravessar o cruzamento com segurança pode ser calculada pela equação (Papaioannou, 2007):

$$CCD = V \cdot \tau - (w + l) \quad (3.5)$$

sendo CCD : distância máxima para atravessar o cruzamento com segurança (m);
 V : velocidade de aproximação (m/s);
 τ : tempo entre verdes (s);
 w : largura do cruzamento (m); e
 l : comprimento do veículo (m).

As siglas SSD (*safe stopping distance*) e CCD (*critical crossing distance*) são originárias da língua inglesa e são adotadas neste trabalho para manter referência ao

trabalho de Papaioannou (2007). Para minimizar o problema do aparecimento de zona de dilema podem ser estudadas diferentes combinações entre velocidade de aproximação e tempo da fase amarela, no caso de semáforos com atuação em tempo real em função do tráfego. Teoricamente, os tempos semaforicos podem ser alterados até garantir que nenhum veículo esteja sujeito à zona de dilema, mas essa técnica aumenta os atrasos e diminui a velocidade da corrente de tráfego. Deve-se, ainda, considerar que cada motorista possui seu próprio tempo de percepção e reação, cada veículo possui especificações mecânicas distintas e são infinitas as condições de volume e comportamento no tráfego (Gazis *et al.*, 1960; ITE, 1992; Pant e Cheng, 2001; Pant *et al.*, 2005).

Na busca pela eliminação da zona de dilema, McCoy e Pesti (2003) analisam métodos de proteção contra zonas de dilema. Os autores compararam a utilização de sensores no pavimento para estender o tempo de verde até um limite máximo e o uso de flashes luminosos acionados antes da indicação de amarelo, concluindo que ambas as alternativas aumentam o nível de segurança da via, e que não há vantagens de uma sobre a outra.

3.4. Desempenho dos veículos

Entender e modelar como os motoristas param e aceleram em interseções semaforizadas é um dos principais objetivos da pesquisa. Portanto, este item apresenta uma breve revisão sobre modelos que descrevem as desacelerações e acelerações dos veículos.

3.4.1. Desaceleração

Esse processo pode ocorrer tanto em função das resistências de rolamento e do ar como pelo acionamento dos freios. A desaceleração causada pelas resistências acon-

tece quando o motorista libera o pedal do acelerador. Esta parcela da desaceleração é maior quanto maior for a velocidade, devido à resistência do ar: a 110 km/h essa desaceleração é de aproximadamente $1,0 \text{ m/s}^2$ (ITE, 1992).

Ao decidir parar, o motorista deve adotar uma taxa de desaceleração compatível com a distância disponível para parar. A magnitude dessa taxa depende da distância do veículo até a faixa de retenção e da velocidade inicial. Estudos realizados em aproximações de baixas e médias velocidades observaram desacelerações inferiores a 4 m/s^2 ; em aproximações com velocidades elevadas, desacelerações de até $5,5 \text{ m/s}^2$ (Gazis *et al.*, 1960; Haas *et al.*, 2004; Moon *et al.*, 2002).

Contudo, o valor indicado para desaceleração confortável aos ocupantes do veículo, segundo o *Traffic Engineering Handbook* (ITE, 1992), é de aproximadamente $3,05 \text{ m/s}^2$ (10 ft/s^2). Nos estudos de Milazzo *et al.* (2002) e Hicks *et al.* (2005) uma taxa de desaceleração de $3,40 \text{ m/s}^2$ foi considerada como ponto de mudança entre desacelerações típicas ou agressivas nas interseções.

É importante considerar que as taxas máximas de desaceleração dependem do coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento. Sistemas de freio em boas condições podem requerer maior atrito que o existente entre o pneu e o pavimento, ocasionando travamento das rodas. Em alguns casos, uma desaceleração de $4,5 \text{ m/s}^2$ pode causar derrapagem, dependendo do pavimento, dos pneus e das condições meteorológicas. A presença, no veículo, do sistema de freio ABS elimina a chance de derrapagem, pois esse sistema aproveita ao máximo o atrito disponível entre o pneu e o pavimento (ITE, 1992).

Em 2005, Caird *et al.* (2005) realizaram um estudo no qual se variava o instante de ativação do amarelo em função do tempo até a faixa de retenção. Quando o tempo até a faixa de retenção foi de 1,73 s, a desaceleração média observada foi de 5,5 m/s²; para um tempo de 3,58 s, a taxa de desaceleração média foi de 2,5 m/s².

3.4.2. Modelo de desaceleração da AASHTO

Apresentado no *Green Book* (AASHTO, 2001), é usado comumente para elaboração de normas e projetos de rodovias; o modelo é usado também para determinação da distância de visibilidade necessária para uma parada segura. Baseada na cinemática, a distância de frenagem é função da velocidade de projeto da rodovia e do coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento, conforme a equação:

$$D = \frac{V^2}{254 * (f \pm 0,01 * m)} \quad (3.6)$$

Sendo D : distância de frenagem (m);
 V : velocidade inicial do veículo (km/h);
 f : coeficiente de atrito entre pneu e pavimento; e
 m : declividade da via (%).

Segundo as instruções da AASHTO, o coeficiente de atrito entre pneu e pavimento (f) decresce não linearmente de 0,40 para baixas velocidades (em torno de 35 km/h) a 0,28 para altas velocidades (em torno de 110 km/h).

3.4.3. Aceleração

O *Traffic Engineering Handbook* (ITE, 1992) apresenta, conforme mostra a Tabela 3.4, valores das taxas de aceleração máximas de veículos com diferentes relações massa/potência, partindo do repouso. As taxas média e máxima de aceleração, respectivamente, são 1,10 m/s² e 3,5 m/s².

Tabela 3.4 - Aceleração máxima partindo do repouso

Taxa Típica de Máxima Aceleração, no plano (m/s ²)						
Tipo de Veículo	Relação Massa/Potência (kg/hp)	0 – 16 km/h	0 – 32 km/h	0 – 48 km/h	0 – 64 km/h	0 – 80 km/h
Automóveis	11,3	2,83	2,71	2,59	2,49	2,37
	13,6	2,37	2,28	2,19	2,07	1,98
	15,8	2,07	1,98	1,88	1,79	1,67
Caminhões	45,3	0,88	0,70	0,67	0,60	0,48
	90,7	0,54	0,48	0,45	0,36	0,30
	136,0	0,39	0,39	0,36	0,33	0,18
	181,4	0,39	0,36	0,33	0,21	–

Fonte: ITE (1992)

St. John e Kobett (1978) utilizaram veículos de passeio norte-americanos típicos para a obtenção do valor da máxima aceleração, representada pela equação:

$$a_0 = 0,86 + 31,38 * \left(\frac{r_1 * r_2}{W/bhp} \right) \quad (3.7)$$

Sendo a_0 : aceleração máxima (ft/s²);
 r_1 : fator de redução da primeira marcha na caixa de câmbio;
 r_2 : fator de redução no diferencial;
 W : peso do veículo (lb); e
 bhp : potência máxima gerada pelo motor (hp).

No estudo feito por Gazis *et al.* (1960) foi observado que um automóvel partindo do repouso apresenta acelerações de até 4,5 m/s²; este mesmo veículo, a 105 km/h, consegue somente atingir uma aceleração de 0,8 m/s². Brackstone (2003) observa que se a aceleração do veículo em movimento não apresentar variação superior a 0,6 m/s², pode-se considerar que o motorista está confortável com a velocidade atual.

No entanto, raramente toda potência disponível do veículo é usada para gerar a aceleração; exceto em casos de emergência. Geralmente, a aceleração está mais relacio-

nada ao desejo dos motoristas do que à capacidade de desempenho do veículo (ITE, 1992; Wang *et al.*, 2004; Kulkarni, 2006).

3.4.4. Modelos de aceleração

Alguns dos principais modelos de aceleração estão apresentados na Figura 3.3: (a) linear constante; (b) linear em dois estágios constantes; (c) de função monotônica decendente; (d) polinomial. Os modelos de aceleração polinomial inversa [Figura 3.3 (e)] e o baseado na mecânica de locomoção [Figura 3.3 (f)] também podem ser usados para representação matemática das acelerações (Haas *et al.*, 2004; Rakha *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2004; Kulkarni, 2006).

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 3.3 - Modelos de aceleração: (a) constante; (b) em dois estágios constantes; (c) função monotônica decendente; (d) polinomial; (e) polinomial inversa; (f) mecânica de locomoção de veículos.

Modelo de aceleração constante

Os modelos com aceleração constante mantêm a mesma taxa de aceleração durante todo o tempo, conforme pode ser observado na Figura 3.3 (a). Esta simplificação faz com que, para um grande tempo de aplicação da aceleração constante, o veículo tenda a ter velocidade infinita. Por isso, o modelo não representa bem o comportamento dos motoristas (Wang *et al.*, 2004; Rakha *et al.*, 2004).

Modelo de aceleração em dois estágios constantes

Neste modelo são utilizados dois valores constantes de aceleração, um para velocidades baixas e outro para velocidades altas, supondo-se que os motoristas aplicam grandes acelerações em baixas velocidades e acelerações menores em altas velocidades, conforme mostrado na Figura 3.3 (b) (Wang *et al.*, 2004; Rakha *et al.*, 2004).

Após análise de dados, Rakha *et al.* (2004) concluíram que esse tipo de modelo superestima as velocidades e apresenta fraca representação do sistema real, mas, devido a sua simplicidade, pode ser considerado razoável.

Modelo de aceleração de função monotônica decendente

Este modelo considera que há uma redução da aceleração à medida em que a velocidade aumenta, conforme mostra a Figura 3.3 (c) (Wang *et al.*, 2004; Rakha *et al.*, 2004). O modelo pode ser representado pela equação:

$$\frac{dv}{dt} = \alpha - \beta * V \quad (3.8)$$

Sendo dv/dt : taxa de aceleração (m/s²);
 α : aceleração que o veículo imprime quando saindo do repouso;
 β : decréscimo da aceleração (coeficiente angular); e
 V : velocidade do veículo (m/s).

Entre os modelos, Rakha *et al.* (2004) consideraram-no como o que melhor representa o processo de aceleração. Uma variação desse modelo, utilizando funções monotônicas lineares com diferentes coeficientes angulares para intervalos de velocidade, foi usado por Huff e Scrivner (1955). Essa variação do modelo é similar ao utilizado pelo simulador de tráfego *CORSIM*.

Modelo de aceleração polinomial

O comportamento do modelo segue o apresentado na Figura 3.3 (d). O fato de a taxa de aceleração não decrescer linearmente sugere que o modelo polinomial também seja adequado para representar a aceleração dos motoristas, mesmo com a formação de pico de aceleração em baixa velocidade. Esse modelo pode ser representado pela equação (Wang *et al.*, 2004; Rakha *et al.*, 2004):

$$v^3 = a + b * x + c * x^2 \quad (3.9)$$

Sendo v : velocidade do veículo (m/s);
 x : distância ao longo da rodovia; e
 a, b, c : coeficientes do modelo.

Esse tipo de equação representa bem o comportamento de aceleração, porém, para a base de dados analisada por Wang *et al.* (2004) e Rakha *et al.* (2004), o modelo não conseguiu representar corretamente as situações de baixa velocidade, principalmente durante os primeiros dois segundos do processo, quando a aceleração do veículo é superestimada pelo modelo.

Modelo de aceleração polinomial inversa

Wang *et al.* (2004) propõem esse modelo após o modelo polinomial não representar satisfatoriamente a aceleração para conjunto de dados de sua pesquisa. Nesse modelo considera-se que os motoristas aceleram com uma relação polinomial inversa à velocidade, conforme a equação:

$$\sqrt{a} = a_0 - a_1 * v \quad (3.10)$$

Sendo a : aceleração do veículo (m/s²); e
 v : velocidade do veículo (m/s).

No entanto, o trabalho não apresenta resultados comparando esse equacionamento com dados reais observados.

Modelo baseado na mecânica de locomoção de veículos

Este modelo é baseado na relação $F = M * a$, ou seja, a força (F) é o produto entre a massa (M) e a aceleração (a). Apesar de ser possível considerar a perda de potência dos veículos durante as trocas de marchas, o modelo geralmente leva em consideração um fator de eficiência da potência (η), não entrando em detalhes sobre trocas de marcha. Para carros de passeio, o aumento de precisão com esse grau de detalhamento não é significativo (Rakha *et al.*, 2004). Este modelo considera a força motriz, a resistência ao movimento que atuam no veículo e a massa do veículo, conforme observado na equação:

$$a = \frac{F - R}{M} \quad (3.11)$$

Sendo a : aceleração;
 F : força motriz;
 R : forças de resistência; e
 M : massa do veículo.

Para determinar a aceleração máxima, a força motriz é a máxima possível de se aplicar ao veículo, sendo a menor entre a força tratora e a força máxima aderente:

$$F = \min(F_t, F_{m\acute{a}x}) \quad (3.12)$$

$$F_t = 3.600 * \eta_a * \frac{P}{V} \quad (\text{Força tratora}) \quad (3.13)$$

$$F_{m\acute{a}x} = 9,81 * M_{ta} * \mu \quad (\text{Força motriz máxima}) \quad (3.14)$$

Sendo F : força motriz;
 F_t : força motriz gerada pelo motor;
 $F_{m\acute{a}x}$: força motriz máxima permitida pela aderência;
 η_a : eficiência do conjunto de motor e transmissão;
 P : potência do veículo;
 V : velocidade do veículo;
 M_{ta} : massa do veículo no(s) eixo(s) trator(es); e
 μ : coeficiente de atrito entre pneu e pavimento.

A resistência inclui a soma das forças contrárias ao movimento como a resistência aerodinâmica, de rolamento e de rampa:

$$R_a = c_a \cdot A \cdot V^2 \quad (\text{Resistência aerodinâmica}) \quad (3.15)$$

Sendo R_a : resistência aerodinâmica;
 c_a : coeficiente de penetração aerodinâmica;
 A : área frontal do veículo; e
 V : velocidade do veículo.

$$R_r = (c_1 + c_2 \cdot V) \cdot G \quad (\text{Resistência de rolamento}) \quad (3.16)$$

Sendo R_r : resistência de rolamento;
 c_1 : constante da deformação do pneu e da via;
 c_2 : constante para os efeitos dos demais fatores;
 V : velocidade do veículo; e
 G : peso do veículo.

$$R_g = 10 \cdot G \cdot i \quad (\text{Resistência de rampa}) \quad (3.17)$$

Sendo R_g : resistência de rampa;
 G : peso do veículo; e
 i : declividade da rampa.

A resistência que ocorre em função da rampa pode atuar a favor do movimento em caso de declives acentuados, gerando um valor menor, ou negativo, para as resistências (R), logo, permitindo maior aceleração. Assim torna-se possível determinar as acelerações e o perfil de velocidade dos veículos a cada intervalo de tempo (Rakha *et al.*, 2001; Rakha e Lucic, 2002; Rakha e Yu, 2005).

O simulador de tráfego *INTEGRATION* utiliza este modelo (Rakha *et al.*, 2004). Rakha e Yu (2005) utilizaram este modelo de desempenho para diferentes combinações entre massa/potência em caminhões comparando os resultados com dados de campo. Ao final, foi determinado que o modelo é consistente com o *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) e com o *Green Book* (AASHTO, 2001), além de apresentar vantagens como a possibilidade de alterações nas condições de pavimento e de características dos veículos estudados.

3.4.5. Modelos de aceleração usados em simuladores de tráfego

Um dos primeiros estudos com modelos de aceleração para simuladores de tráfego foi feito por St. John e Kobett (1978). No estudo, além do método para a determinação da aceleração máxima tratado anteriormente, são analisados efeitos de rampas no desempenho de veículos e na capacidade das vias. O modelo de aceleração monotônico decrescente é usado para calcular a aceleração em função da velocidade que o veículo trafega, conforme a equação:

$$a = a_0 * \left[1 - \left(\frac{V}{V_m} \right) \right] \quad (3.18)$$

Sendo a : aceleração na velocidade V em trecho plano;
 a_0 : máxima aceleração com a velocidade próxima a zero;
 V : velocidade em que se aplica a aceleração; e
 V_m : velocidade teórica máxima.

Outro modelo de aceleração usado por simuladores é o presente no CORSIM, que é uma variação do modelo usado por St. John e Kobett (1978). Uma variação é o fato de que as acelerações são propostas em função da faixa de velocidade que o veículo trafega, em intervalos de 10 ft/s (Figura 3.4), tornando-o similar ao proposto por Huff e Scrivner (1955).

Figura 3.4 - Acelerações máximas para automóveis, por faixa de velocidade, para o simulador CORSIM

Os trabalhos de Araújo (2007) e Cunha (2007) calibraram as curvas de aceleração do simulador de tráfego CORSIM para melhor representar caminhões típicos brasileiros. As acelerações para automóveis foram mantidas com os valores *default*. A calibração realizada também introduziu alterações nos parâmetros que representam a agres-

sividade dos dez tipos de motoristas usados durante as simulações – que são atribuídos para motoristas que conduzem tanto carros de passeio quanto caminhões.

4. COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS

O objetivo deste capítulo é apresentar os estudos visando identificar a ocorrência de diferenças entre grupos internos aos fatores idade (jovens e idosos), gênero (masculino e feminino) e declividade (active e decline). Mesmo com as possíveis distribuições dos dados sendo verificadas com o teste Kolmogorov-Smirnov (ex.: normal, gama, beta e valores extremos), a melhor representação dos dados deve – além de possuir forma que se assemelhe à distribuição dos dados – contar com o bom senso do engenheiro de trânsito. Exemplo da necessidade de coerência com o comportamento dos dados de campo pode ser observado na distribuição do tempo de percepção e reação, que não pode apresentar valor nulo ou negativo; logo, a distribuição normal não representa corretamente os dados desse parâmetro. Ao final de cada análise é apresentado um resumo com as principais informações obtidas de cada fator.

Nos grupos de dados com distribuição normal, o teste ANOVA de fator único foi usado para verificar a ocorrência de diferenças estatísticas. Para os conjuntos de dados que não se admitiu uma distribuição normal, foram usados os testes não paramétricos de Mann-Whitney e de Kruskal-Wallis.

ANOVA, Mann-Whitney e Kruskal-Wallis foram escolhidos por permitir a identificação de diferenças entre grupos, ou níveis, pertencentes a um fator de interesse. Os testes foram feitos considerando 95% de significância e consideraram as seguintes hipóteses:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_c$; não há diferença entre as amostras.

H_1 : Nem todas as μ_j são iguais (onde $j = 1, 2, \dots, c$).

Assim, nesta etapa da pesquisa buscou-se analisar alguns dos principais fatores que descrevem o comportamento dos motoristas nas paradas e partidas da interseção. Para isso, inicialmente apresenta-se o estudo do número de paradas para, em seguida, analisar diferenças estatísticas em função dos fatores idade, gênero e declividade com o teste qui-quadrado (χ^2). Em seguida, são feitas considerações sobre a posição de parada em relação à faixa de retenção. O tempo de percepção e reação é estudado em duas situações: antes da decisão por parar (desaceleração) e antes da partida da interseção (aceleração). Ao final do capítulo, o comportamento dos motoristas sob o efeito de zona de opção ou de dilema é discutido.

4.1. Quantidade de paradas

Como esperado, a Figura 4.1 mostra que o número de motoristas com ao menos uma parada cresce com o aumento da distância de ativação da fase amarela (DAA); todos os 60 motoristas pararam ao menos uma vez ao receber a fase amarela a 111 m da interseção: foram observadas 819 paradas das 1.200 possíveis. A quantidade total de paradas por distância de ativação da fase amarela é mostrada na Figura 4.2.

Figura 4.1 - Número de motoristas que pararam ao menos uma vez (em função da DAA)

Figura 4.2 - Número total de paradas em função da DAA

A diferença entre a quantidade de motoristas que pararam em função da idade, gênero e declividade foi avaliada com o teste qui-quadrado (χ^2). Neste caso, para uma mesma distância de ativação da fase amarela, a hipótese nula é que não há diferença entre a quantidade de motoristas que decidiram parar na interseção em função dos fatores idade, gênero e declividade. A Tabela 4.1 apresenta o número de paradas observadas em cada distância de ativação da fase amarela; como o número de motoristas avaliados em função da idade (32 jovens e 28 idosos) não é o mesmo, os gráficos obtidos a partir desses dados estão em porcentagem.

Tabela 4.1 - Número do paradas observadas em cada DAA em função dos fatores estudados

DAA (m)	Idade		Gênero		Declividade	
	Jovem	Idoso	Feminino	Masculino	Active	Declive
32	1	8	5	4	6	7
55	22	24	24	22	38	37
66	32	27	30	29	49	52
88	32	27	30	29	56	54
111	32	28	30	30	55	56
Máximo	32	28	30	30	60	60

A Figura 4.3 mostra que para uma distância de ativação da fase amarela inferior a 55 m, o grupo idoso apresentou maior número de paradas, o que indicaria um comportamento mais conservador. Porém, para o fator idade, somente na distância de ativação da fase amarela de 32 m [$\chi^2 (1) = 7,58, p = 0,006$] esse comportamento foi comprovado

estatisticamente pelo teste qui-quadrado. Nas demais distâncias de ativação da fase amarela não houve diferença estatística em função da idade e observou-se que quanto maior a distância de ativação da fase amarela, menos significativa a diferença encontrada {[55 m: $\chi^2(1) = 2,40, p = 0,12$]; [66 m e 88 m: $\chi^2(1) = 1,16, p = 0,28$]}.

Figura 4.3 - Porcentagem de motoristas que param em função da idade e da DAA

A Figura 4.4 apresenta o número de paradas observadas em função do gênero. O gênero feminino apresentou uma quantidade de paradas pouco superior ao masculino. Porém, o teste estatístico não apontou diferença na quantidade de paradas em cada distância de ativação da fase amarela para o fator gênero {[32 m: $\chi^2(1) = 0,13, p = 0,72$]; [55 m: $\chi^2(1) = 0,37, p = 0,54$]; [66 m e 88 m: $\chi^2(1) = 1,02, p = 0,31$]}.

Figura 4.4 - Porcentagem de motoristas que param em função do gênero e da DAA

Para a declividade, a amostra foi composta por 120 observações, pois os 60 motoristas trafegaram em aclive ou em declive. Esta separação em função da declividade faz com que não se observe na Figura 4.5 a totalidade de motoristas com ao menos uma parada na distância de ativação da fase amarela de 111 m, pois, alguns não pararam ou não receberam a fase amarela em aclive ou em declive.

Na Figura 4.5, observa-se que equilíbrio entre a quantidade de paradas no aclive e no declive. Nos testes estatísticos não foram constatadas diferenças significativas {[32 m: $\chi^2(1) = 0,09$, $p = 0,77$]; [55 m: $\chi^2(1) = 0,04$, $p = 0,85$]; [66 m: $\chi^2(1) = 0,56$, $p = 0,45$]; [88 m: $\chi^2(1) = 0,44$, $p = 0,51$]; [111 m: $\chi^2(1) = 0,12$, $p = 0,73$]}.

Figura 4.5 - Porcentagem de motoristas que pararam em função da declividade e da DAA

4.2. Posição de parada em relação à faixa de retenção

A posição final do veículo em relação à faixa de retenção pode indicar se a decisão de parar foi correta; idealmente, o carro não deve transpor a faixa de retenção, mas deve parar antes dela. Neste estudo, considerou-se que o veículo parava quando sua velocidade era menor ou igual a 3,6 km/h e a posição de parada do veículo, em relação à faixa de retenção, foi determinada para este instante. A invasão do cruzamento ocorria quando a parada se dava após a faixa de retenção. Nas 819 paradas analisadas, foi ob-

servada maior quantidade de invasões nas menores distâncias de ativação da fase amarela, conforme pode ser visto na Tabela 4.2. Com a distância de ativação da fase amarela de 32 m, em 17 dos 20 casos observados, os motoristas pararam após a faixa de retenção.

Tabela 4.2 - Número de paradas e invasões observadas em cada DAA

DAA (m)	Número de paradas	% de paradas das 240 possíveis	Invasões	% de invasões nas tentativas de parada
32	20	8,3%	17	85,0%
55	141	58,8%	72	51,1%
66	197	82,0%	71	36,0%
88	228	95,0%	36	15,8%
111	233	97,1%	18	7,7%

A média e o 85º percentil da posição de parada dos veículos em relação à faixa de retenção, para cada distância de ativação da fase amarela, são apresentados na Figura 4.6; valores negativos na ordenada representam a extensão, em metros, da invasão do pára-choque dianteiro em relação à faixa de retenção. Valores positivos indicam que a parada foi realizada antes da faixa de retenção. Percebe-se que, quanto maior a distância de ativação da fase amarela mais próximo da faixa de retenção os veículos pararam, possivelmente pelo maior controle da situação.

Figura 4.6 - Posição final de parada dos veículos em relação a faixa de retenção

Nas análises subseqüentes, as observações referentes à distância de ativação da fase amarela de 32 m não são consideradas, pois, em condições normais, os motoristas deveriam prosseguir, tendo em vista sua velocidade e a pequena distância até a interseção. Por outro lado, para a distância de ativação da fase amarela de 111 m, um veículo a 72 km/h (20 m/s) não seria capaz de cruzar a interseção antes do final do amarelo, cuja duração era de 4 s; portanto, todos os motoristas deveriam parar sem invadir o cruzamento, pois a distância de frenagem (SSD) correspondente é 53,8 m. Por isso, os dados relativos a distância de ativação da fase amarela de 111 m também não foram usados nas análises subseqüentes. As observação com distância de ativação da fase amarela de 55 m apresentaram parcela significativa dos motoristas (59%) com parada; a invasão média foi de 0,50 m e o 85º percentil corresponde a uma invasão de 2,88 m.

A Figura 4.7 apresenta médias e 85º percentis para a posição de parada em função do gênero dos motoristas, da sua idade e da declividade da via. A Figura 4.7 (a) sugere que idosos tendem a ser mais cuidadosos que jovens, invadindo menos o cruzamento. A Figura 4.7 (b) indica que o gênero do motorista não influi na posição final de parada. A Figura 4.7 (c) indica que em distâncias de ativação da fase amarela pequenas (55 e 66 m), no declive ocorrem maiores invasões do que no aclave. Isso é esperado e pode ser explicado pela necessidade de uma menor distância de frenagem no aclave; gerada por forças contrárias ao movimento, como a componente de peso do veículo.

(a) Idade

(b) Gênero

(c) Declividade da via

Figura 4.7 - Comparação do efeito da (a) idade, (b) gênero e (c) declividade da via na posição final do veículo em relação à faixa de retenção

Os histogramas da Figura 4.8 sugerem que a posição de parada obedeça a uma distribuição normal. Esta suposição foi confirmada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov [(55 m: $d = 0,14$; $dc = 0,26$); (66 m: $d = 0,17$; $dc = 0,26$); (88 m: $d = 0,15$; $dc = 0,29$); (111 m: $d = 0,13$; $dc = 0,26$)]. A quantidade de observações em cada amostra e um resumo dos valores obtidos para a posição de parada dos veículos em relação à faixa de retenção em cada distância de ativação da fase amarela encontram-se na Tabela 4.3.

Figura 4.8 - Distribuição dos dados de posição de parada observados, para cada DAA

Tabela 4.3 - Principais valores obtidos para a posição de parada na interseção (m)

DAA	Amostra	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo de confiança		85º Percentil
55 m	141	-0,50	2,87	4,77	-10,40	-0,98	-0,03	-2,88
66 m	197	0,42	2,20	7,23	-12,97	0,11	-0,73	-1,22
88 m	228	1,54	1,92	15,01	-5,08	1,29	1,79	-0,04
111 m	233	1,90	1,95	15,01	-4,87	1,64	2,15	0,28

4.2.1. Análise dos dados de posição de parada

Para verificar o efeito da idade, do gênero e da declividade sobre a posição final do veículo, foram usados testes ANOVA, cujos resultados estão resumidos na Tabela 4.4. Em relação à idade, as observações de posição de parada foram agrupados em jovens e idosos; em relação ao gênero, em masculino e feminino; e, em relação à declividade da via, em paradas em declive e em aclave. Os dados com distância de ativação da fase amarela de 111 m não foram analisados, pois, os motoristas vindo a 72 km/h deveriam parar após a indicação da fase amarela.

Os resultados dos testes apontam diferença estatística no fator idade – motoristas jovens tendem a parar com maior invasão da faixa de retenção quando comparados aos motoristas idosos. Os fatores gênero e declividade não mostram diferença estatisticamente significativa sobre a posição de parada dos veículos, exceto para o fator declividade na distância de ativação da fase amarela de 66 m. Cabe ressaltar que para o fator declividade, houve diferença estatística na distância de ativação da fase amarela de 66 m e tendência de diferença para a distância de ativação da fase amarela de 55 m (valor de p próximo a 0,05), com os motoristas que trafegaram em declive apresentando, por vezes, maiores invasões do que motoristas em aclave; mesmo não sendo estatisticamente significativa a diferença, percebe-se, na Figura 4.7 (c), que a posição de parada no declive apresenta maior invasão do cruzamento.

Tabela 4.4 - Resultados da análise de variância

DAA	Fator		
	Idade	Gênero	Declividade da via
55 m	$F(1,139) = 4,17; p = 0,04$	$F(1,139) = 0,24; p = 0,63$	$F(1,139) = 3,14; p = 0,08$
66 m	$F(1,195) = 6,30; p = 0,01$	$F(1,195) = 1,01; p = 0,32$	$F(1,195) = 7,68; p = 0,01$
88 m	$F(1,226) = 4,51; p = 0,03$	$F(1,226) = 2,38; p = 0,12$	$F(1,226) = 1,07; p = 0,30$

4.3. Tempo de percepção e reação

4.3.1. Tempo de percepção e reação de desaceleração

No estudo do tempo de percepção e reação (TPR) foram excluídos os casos nos quais os motoristas já exerciam pressão no pedal do freio antes da ativação da fase amarela. Outra consideração feita foi a de agrupar os dados de tempo de percepção e reação de um mesmo motorista trafegando em mesma declividade e distância de ativação da fase amarela para se obter um valor médio. A média dos valores de tempo de percepção e reação para cada motorista reduziu a amostra analisada para um conjunto de no máximo 120 dados (60 motoristas trafegando em aclave e 60 em declive). A Figura 4.9 apresenta pontos referentes à média (com intervalo de confiança) e ao 85º percentil observado para cada distância de ativação da fase amarela. Os valores de tempo de percepção e reação foram diretamente proporcionais à distância de ativação da fase amarela.

Figura 4.9 - Tempo de Percepção e Reação médio (com intervalo de confiança) e 85º percentil para cada DAA na desaceleração

Com relação à distribuição dos dados, os histogramas da Figura 4.10 sugerem a existência de uma distribuição normal, porém, o tempo de percepção e reação não pode ser negativo ou nulo pelo fato de se tratar de um tempo decorrido desde a mudança da fase semafórica até o instante em que há início de pressão no pedal do freio. Assim, a partir do conhecimento técnico, espera-se que a distribuição seja unicaudal, como as distribuições beta, gama ou de valores extremos.

Figura 4.10 - Distribuição dos dados de TPR para intervalos de tempo (0,1 s) para cada DAA

Portanto, como não se considerou uma distribuição normal dos dados, foram utilizados os testes não-paramétricos de Mann-Whitney e de Kruskal-Wallis na análise do comportamento dos grupos de motoristas em função dos fatores idade, gênero e declividade. A quantidade de amostras observadas e um resumo dos valores obtidos para o tempo de percepção e reação em cada distância de ativação da fase amarela encontram-se na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Principais valores obtidos para o TPR na desaceleração

DAA (m)	Amostras	Mínimo (s)	IC - Lim. Inferior (s)	Desvio Padrão (s)	Média (s)	IC - Lim. Superior (s)	85º Percentil (s)	Máximo (s)
55	72	0,40	0,61	0,12	0,64	0,67	0,70	1,00
66	92	0,30	0,62	0,16	0,66	0,69	0,80	1,30
88	104	0,20	0,67	0,17	0,71	0,74	0,80	1,40
111	103	0,40	0,81	0,25	0,86	0,91	1,10	1,80

Para o tempo de percepção e reação na desaceleração os valores médios e 85º percentis em função da idade, gênero e declividade são apresentados na Figura 4.11. Para a idade [Figura 4.11 (a)] e gênero [Figura 4.11 (b)], não foram observadas grandes variações entre os valores de jovens e idosos e de gênero masculino e feminino. A comparação entre aclive e declive [Figura 4.11 (c)] indica que o tempo de percepção e reação no declive tende a ser inferior ao tempo de percepção e reação do aclive. Isso pode ser explicado pela maior dificuldade em frear o carro no declive, gerada pela componente de peso do veículo no sentido do movimento. Os testes que avaliam a existência de diferença estatisticamente significativa entre grupos internos aos fatores avaliados são apresentados no próximo item.

(a) idade

(b) gênero

(c) declividade

Figura 4.11 - Valores médios e 85º percentis de tempo de percepção e reação observados, na desaceleração, para a comparação entre fatores (a) idade, (b) gênero e (c) declividade

4.3.2. Análise dos dados de tempo de percepção e reação na desaceleração

Para os grupos avaliados nesta pesquisa, o teste de Mann-Whitney aplicado aos dados de tempo de percepção e reação indicou diferença entre motoristas trafegando em aclive ou em declive [(55 m: $p = 0,003$); (66 m: $p < 0,001$); (88 m: $p = 0,004$)]. Os fatores idade [(55 m: $p = 0,51$); (66 m: $p = 0,12$); (88 m: $p = 0,53$)] e gênero [(55 m: $p = 0,21$); (66 m: $p = 0,61$); (88 m: $p = 0,98$)] não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre seus grupos internos.

Assim, com base nos resultados obtidos, sugere-se que os motoristas avaliados nessa pesquisa sejam divididos em dois grupos distintos de comportamento – aclive e declive – em função de seus valores de tempo de percepção e reação. As diferenças entre grupos dos fatores idade e gênero não foram estatisticamente significativas para se propor grupos independentes. Os valores médios e 85º percentis obtidos para cada distância de ativação da fase amarela, considerando a separação por declividade, encontram-se na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Valores médios e 85° percentis do tempo de percepção e reação, na desaceleração, para cada DAA

DAA (m)	Active (s)		Declive (s)	
	média	85°	média	85°
55	0,70	0,80	0,56	0,70
66	0,71	0,85	0,56	0,70
88	0,76	0,87	0,63	0,83

4.3.3. Tempo de percepção e reação de aceleração

O tempo de percepção e reação de aceleração está ligado ao tempo perdido no início do verde, juntamente com o tempo de reação do veículo e o tempo necessário para a retomada de velocidade. Para a aceleração, supôs-se que o conjunto de dados não é influenciado pela distância de ativação da fase amarela aplicada na desaceleração. Após a parada, como todos os motoristas partiram da interseção, foi possível incluir os dados dos motoristas com distância de ativação da fase amarela de 111 m na desaceleração.

Mesmo com o histograma da Figura 4.12 podendo ser representado por uma distribuição normal, como constatado pelo teste Kolmogorov-Smirnov ($d = 0,10$; $d_c = 0,29$), coube ao tempo de percepção e reação da aceleração a mesma consideração feita para a desaceleração, de que a distribuição normal tende a não representar fielmente os dados.

Novamente, do conhecimento sobre o comportamento dos dados de tempo de percepção e reação, sugere-se que a distribuição unicaudal seja mais representativa que a distribuição normal. Assim, o teste não paramétrico de Mann-Whitney foi usado para verificar a existência de diferença estatística entre os grupos. A média obtida para os dados de tempo de percepção e reação de aceleração foi de 1,04 s, com intervalo de confiança (95%) entre 0,99 s e 1,09 s; o desvio padrão observado foi de 0,26 s e o 85° per-

centil foi de 1,25 s. O resumo dos valores obtidos para o tempo de percepção e reação na aceleração encontram-se na Tabela 4.7.

Figura 4.12 - Distribuição dos dados, para cada DAA, para intervalos de tempo (0,1 s)

Tabela 4.7 - Principais valores obtidos para o tempo de percepção e reação na aceleração

N	Mínimo (s)	IC - Lim. Inferior (s)	Desvio Padrão (s)	Média (s)	IC - Lim. Superior (s)	85º Percentil (s)	Máximo (s)
117	0,41	0,99	0,26	1,04	1,09	1,25	2,04

A Tabela 4.8 apresenta os valores médios e 85º percentis para o tempo de percepção e reação de cada fator na aceleração. Para o fator idade, o grupo feminino apresentou tempo de percepção e reação médio superior ao grupo masculino, o que condiz com as indicações apontadas nas bibliografias apresentadas na revisão bibliográfica. Para a declividade, o fato do tempo de percepção e reação ser maior no aclave do que no declive pode ser devido ao conhecimento do motoristas de que sua frenagem no aclave é auxiliada por forças contrárias ao movimento, geradas pela componente de peso do veículo – o oposto ocorre para os motoristas trafegando em declive, pois a distância de frenagem é maior.

Tabela 4.8 – Valores de tempo de percepção e reação na aceleração, por fator avaliado

	Idade (s)		Gênero (s)		Declividade (s)	
	Jovem	Idoso	Masculino	Feminino	Declive	Aclive
Média	1,01	1,08	0,97	1,11	0,97	1,11
85°	1,27	1,30	1,23	1,32	1,22	1,34

4.3.4. Análise dos dados de tempo de percepção e reação na aceleração

Para o tempo de percepção e reação na aceleração foram identificadas diferenças estatísticas internas aos fatores gênero ($p = 0,01$) e declividade ($p = 0,002$). A influência do fator idade ($p = 0,24$) não se apresentou estatisticamente significativa no teste de Mann-Whitney, com 95% de nível de confiança. Com os resultados das análises, sugere-se que os dados de tempo de percepção e reação na aceleração sejam separados em função dos fatores gênero e declividade, como apresentado na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Valores e 85° percentis do tempo de percepção e reação, na aceleração

	Masculino/Aclive (s)	Masculino/Declive (s)	Feminino/Aclive (s)	Feminino/Declive (s)
Media	0,89	1,05	1,05	1,17
85°	1,08	1,33	1,31	1,34

4.4. Zona de opção e zona de dilema

A verificação da existência de zona de opção (ZO) ou zona de dilema (ZD) foi feita em planilha eletrônica. Foram consideradas dimensões similares à interseção usada nos testes e foi obtido o trecho da via em zona de opção ou zona de opção, bem como seu comprimento e pontos de início e fim.

Na planilha, foram calculadas as distâncias *SSD* e *CCD*, usando as fórmulas (3.4) e (3.5), já apresentadas no capítulo de revisão, com declividade m de 3%, tempo de amarelo τ de 4 s, comprimento do veículo l de 5,09 m (anexo II), tempo de percepção e

reação δ de 0,9 s (Chang *et al.* 1985), largura da via transversal w de 10,20 m e coeficiente de atrito $f=0,60$ (Kulkarni, 2006):

$$SSD = V \cdot \delta + \frac{V^2}{2g(f \pm m)} \quad (3.4)$$

sendo SSD : distância mínima do cruzamento para frenagem com segurança (m);
 V : velocidade de aproximação do veículo (m/s);
 δ : tempo de percepção e reação do motorista (s);
 f : coeficiente de atrito pneu-pavimento;
 m : declividade da via; e
 g : aceleração da gravidade.

$$CCD = V \cdot \tau - (w + l) \quad (3.5)$$

sendo CCD : distância máxima para atravessar o cruzamento com segurança (m);
 V : velocidade de aproximação (m/s);
 τ : tempo entre verdes (s);
 w : largura do cruzamento (m); e
 l : comprimento do veículo (m).

A Figura 4.13 mostra como a existência de zona de opção ou zona de opção pode ser determinada a partir de SSD e CCD:

$$\text{Se } CCD \begin{cases} < SSD, & \text{então existe uma ZD;} \\ \geq SSD, & \text{então existe uma ZO.} \end{cases} \quad (4.1)$$

Figura 4.13 - Determinação das zonas de opção e dilema

A velocidade de aproximação (V) usada na verificação da existência de zona de opção ou zona de opção foi de 72 km/h, baseada na análise de distribuição das veloci-

dades de aproximação dos veículos que pararam no instante da mudança de fase para o amarelo, conforme a Tabela 4.10. Para cada distância de ativação da fase amarela, determinou-se o intervalo de confiança (95% de nível de confiança) da velocidade média nesse instante; os resultados mostram pouca variação em torno de 72 km/h.

Tabela 4.10 - Velocidades médias de aproximação no momento da mudança para a fase amarela (km/h)

DAA (m)	Amostra	Média	Desvio padrão	Intervalo de confiança	
				Limite inferior	Limite superior
32	20	68,3	6,4	65,4	71,0
55	141	72,5	3,6	70,9	74,1
66	197	73,5	3,3	72,1	74,9
88	228	73,7	3,2	72,3	75,1
111	233	73,9	3,4	72,4	75,4

Percebe-se na Tabela 4.10 uma tendência de decrescimento da velocidade média de aproximação à medida que o motorista se encontra mais próximo da interseção. Esse fato pode demonstrar que, mesmo com a indicação para os motoristas manterem a velocidade de 72 km/h, o comportamento é influenciado pela presença de um cruzamento semaforizado. Nos cruzamentos, além do risco de colisão, há o aumento do grau de ansiedade do motorista pela possibilidade da ativação da fase amarela semafórica.

Para as condições adotadas, independente da passagem do veículo ocorrer no aclive ou no declive, foi constatada a existência de uma zona de opção. No aclive, a zona de opção tem 14,3 m de extensão, iniciando-se a 64,7 m da faixa de retenção e terminando a 50,3 m dela. No declive, sua extensão é 10,9 m e os pontos de início e fim situam-se, respectivamente, a 64,7 m e 53,8 m da faixa de retenção.

Pode-se notar que a distância de ativação da fase amarela de 55 m se encontra dentro da zona de opção. Observa-se que, das 240 mudanças para amarelo nessa distância, em 58,8% das vezes os motoristas optaram por parar e em 41,2% por prosseguir, o que confirma a existência de uma zona de opção. Para a distância de ativação da fase

amarela de 66 m, os motoristas decidiram parar em 82% das passagens pelo cruzamento. Isso indica que a maioria dos motoristas optou corretamente por parar na interseção; os motoristas que decidiram prosseguir, mantendo a velocidade de 72 km/h, teoricamente, não conseguiriam cruzar a interseção antes do final da fase amarela. Para as distâncias de ativação da fase amarela de 88 m e 111 m, as porcentagens de parada foram 95,0% e 97,1%, respectivamente, conforme esperado, uma vez que a mudança para amarelo ocorre quando o veículo está distante do cruzamento e o motorista possui maior distância e tempo para uma parada segura. É importante lembrar que o valor do coeficiente de atrito aplicado ($f = 0,6$) foi adotado por Kulkarni (2006) para a pista de teste.

4.5. Considerações finais

Em relação a quantidade de paradas após a indicação da fase amarela, as análises estatísticas que compararam os fatores idade, gênero e declividade não indicaram haver influência desses fatores sobre o comportamento dos motoristas. Somente para a distância de ativação da fase amarela de 32 m foi observada diferença estatisticamente significativa em função do gênero, mas isso pode não representar a realidade, devido a pequena amostra de paradas nessa distância de ativação da fase amarela.

Em relação à decisão por parar, identificou-se que os motoristas, quando colocados em situação de elevada ansiedade – como decidir entre parar ou prosseguir – tendem a adotar o comportamento esperado, ou seja, prosseguir quando muito próximos da interseção ou parar se possuem distância suficiente para isso. Mesmo assim, 18% dos motoristas com distância de ativação da fase amarela de 66 m decidiram prosseguir, quando o mais indicado para sua segurança seria parar. O valor obtido nessa pesquisa é superior ao encontrado por Hicks *et al.* (2005), que identificou que 14% dos motoristas que decidiram passar e 12% dos que decidiram parar não realizaram a escolha mais se-

gura. Os motoristas que optaram parar ao receber a distância de ativação da fase amarela de 32 m apresentaram taxas de desaceleração elevadas, chegando em valores próximos a 8 m/s^2 . No teste não esperavam-se tentativas de parada na distância de ativação da fase amarela de 32 m e nem passagens na distância de ativação da fase amarela de 111 m.

Os dados de posição de parada dos veículos seguem uma distribuição normal e, considerando as distâncias de ativação da fase amarela de 55, 66 e 88 m, apresentaram diferença estatística entre grupos no fator idade na ANOVA; os motoristas jovens tendem a invadir mais a faixa de retenção quando comparados aos motoristas idosos. Os fatores gênero e declividade (3% no aclave e no declive) não apresentaram diferenças estatísticas significativas; exceto para o caso específico da declividade na distância de ativação da fase amarela de 66 m. Portanto, há evidência de que os motoristas mais jovens apresentam uma maior agressividade em relação à posição final de parada na interseção do que motoristas idosos.

Para o tempo de percepção e reação foi usada estatística não paramétrica, por se considerar que os dados não são adequadamente representados por uma distribuição normal – uma distribuição unicaudal seria mais apropriada. Para o tempo de percepção e reação de desaceleração foi identificada diferença nos dados observados quando agrupados em função da declividade. Os valores médios de tempo de percepção e reação para início da desaceleração no declive (entre 0,56 e 0,63 s) foram inferiores aos valores obtidos para o aclave (entre 0,70 e 0,76 s); o 85º percentil ficou entre 0,70 e 0,83 s para o declive e entre 0,80 e 0,87 s para o aclave. Uma hipótese para o tempo de percepção e reação de desaceleração ser inferior no declive do que no aclave é o fato de que os moto-

ristas identificam que para parar no aclave há, a favor da frenagem, a componente de peso do veículo; no declive a componente de peso atua no sentido contrário.

Nas análises do tempo de percepção e reação de aceleração houve diferença estatística em função dos fatores declividade e gênero. Os motoristas precisaram de mais tempo para decidir parar quando trafegando em aclave; muitos podem ter identificado que a distância de frenagem é menor no aclave. Também foi identificada diferença em função do fator gênero. O gênero feminino apresentou tempo de percepção e reação superior ao gênero masculino e os motoristas que iniciaram seu movimento em aclave apresentaram tempo de percepção e reação superior aos motoristas em declive. Logo, sugere-se que nos modelos de comportamento dos motoristas seja dada especial atenção para a possibilidade de separar o tempo de percepção e reação de aceleração dos motoristas em função dos fatores gênero e declividade. Os valores médios de tempo de percepção e reação na aceleração situaram-se entre 0,89 e 1,17 s; o 85º percentil para os grupos de motoristas considerados ficou entre 1,08 e 1,34 s. Cabe ressaltar que, por vezes, o tempo de resposta de veículo pode influenciar no valor de tempo de percepção e reação observado, porém, nos testes os motoristas estavam sujeitos a esse fato tanto nas partidas no aclave quanto no declive.

No estudo da existência de zona de opção ou zona de dilema – considerando fator de atrito f da pista de teste 0,6 e velocidade de aproximação de 72 km/h – os cálculos indicaram uma zona de opção incluindo a distância de ativação da fase amarela de 55 m, o que foi comprovado em campo pela proximidade no número de motoristas que decidiram parar (58,8%) ou passar (41,2%) pela interseção. Determinou-se, como esperado, que a extensão da invasão do veículo no cruzamento é inversamente proporcional à dis-

tância de ativação do amarelo: quanto mais perto do cruzamento no instante da mudança de fase, mais para dentro do cruzamento a posição final.

Após o estudo dos fatores que caracterizam a amostra e permitem representar parte do comportamento dos motoristas nas interseções (quantidade de paradas, posição de parada, tempo de percepção e reação, zona de opção e zona de opção), os próximos capítulos apresentam o foco principal da pesquisa: considerações e análises sobre o conjunto de dados obtidos nas desacelerações e nas acelerações do veículo ao se aproximar e partir da interseção, respectivamente; e a busca de modelos que expressem o comportamento de desaceleração e aceleração dos motoristas em interseções semaforizadas.

5. COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS NA DESACELERAÇÃO

Os simuladores de tráfego se tornam cada vez mais complexos e permitem a escolha de maior número de perfis em função do comportamento dos motoristas – que podem, inclusive, representar efeitos relacionados à faixa etária e ao gênero. O comportamento dos motoristas em cruzamentos semaforizados é um dos pontos fundamentais para calibração e validação de simuladores de tráfego que busquem representar, o mais fielmente possível, o comportamento dos motoristas. O entendimento da forma como se aplica a desaceleração em função do tempo ou da distância à interseção permite estudar a melhoria da segurança do tráfego e possibilita, por exemplo, aprimorar o cálculo do tempo de amarelo.

Para verificar a necessidade de separar os motoristas em grupos nos simuladores, este capítulo pretende identificar a existência de comportamento marcadamente diferente com relação à desaceleração em função dos fatores idade, gênero e declividade. Após as análises estatísticas são propostos modelos matemáticos que exprimem o comportamento de desaceleração dos motoristas em função do tempo – inclusive em função da taxa de aceleração aplicada por grupos de motoristas separados em função de sua agressividade. Por fim, são apresentadas considerações sobre as análises feitas no desenvolvimento do capítulo.

5.1. Desaceleração

A desaceleração foi estimada através de dados de tempo e distância. O intervalo de tempo considerado para cada desaceleração teve início no instante em que o motorista pressionou o pedal do freio mais que 5% de seu curso e encerrou-se no instante em que a velocidade se tornou inferior a 3,6 km/h (1,0 m/s). A distância usada nos cálculos

foi a percorrida durante o intervalo de tempo considerado, obtida pelo DAS. Percebeu-se, na Figura 5.1, como esperado, que quanto maior a distância de ativação da fase amarela, menor a taxa de desaceleração e maior o controle do motorista durante a frenagem.

A partir dos histogramas da Figura 5.2, pode-se presumir uma distribuição normal para os dados analisados. A normalidade da distribuição foi confirmada com o teste Kolmogorov-Smirnov [(55 m: $d = 0,09$; $d_c = 0,33$); (66 m: $d = 0,13$; $d_c = 0,32$); (88 m: $d = 0,17$; $d_c = 0,32$); (111 m: $d = 0,26$; $d_c = 0,31$)] e pela quantidade superior a 68% e 95% dos dados localizados a menos de um e de dois desvios padrões em relação à média, respectivamente. A diferença do 85º percentil e do intervalo de confiança em relação à média, com confiança de 95%, diminuiu conforme a distância de ativação da fase amarela aumentou.

Figura 5.1 - Valores médios de desaceleração (com intervalo de confiança) e 85º percentil

Figura 5.2 - Distribuição dos dados de desaceleração, para cada DAA, para intervalos de tempo (0,1 s)

Através dos dados da Tabela 5.1, que apresenta um resumo dos valores obtidos, percebe-se que a desaceleração média para as distâncias de ativação da fase amarela de 55 m (4,17 m/s²) e 66 m (3,62 m/s²) foi superior ao limite para paradas agressivas, de 3,40 m/s², proposto por Millazo *et al.* (2002) e Hicks *et al.* (2005). Para a distância de ativação da fase amarela de 88 m foi encontrada uma taxa de desaceleração de 2,67 m/s²; e, para a distância de ativação da fase amarela de 111 m, a desaceleração média encontrada, de 2,13 m/s², teoricamente, permitiu maior controle durante a frenagem.

Tabela 5.1 - Resumo dos principais valores obtidos para o comportamento de desaceleração dos motoristas

DAA (m)	N	IC - Lim. Inferior (s)	Média (s)	IC - Lim. Superior (s)	85º Percentil (s)	Desvio Padrão (s)	Mínimo (s)	Máximo (s)
55	75	-4,28	-4,17	-4,06	-3,73	0,84	-5,38	-2,81
66	101	-3,71	-3,62	-3,54	-3,20	0,68	-4,97	-2,41
88	110	-2,73	-2,67	-2,62	-2,47	0,45	-3,43	-1,67
111	111	-2,17	-2,13	-2,09	-1,96	0,37	-2,63	-1,63

Os gráficos da Figura 5.3 sugerem que idade, gênero e declividade não exercem influência sobre a desaceleração usada pelos motoristas da amostra.

Figura 5.3 - Valores médios e 85° percentis observados de desaceleração para a comparação entre os fatores (a) idade, (b) gênero e (c) declividade

5.1.1. Análise dos dados de Desaceleração

No item anterior, a média da desaceleração medida em campo foi comparada com os valores propostos na literatura para desacelerações confortáveis. Os dados usados consideraram o intervalo de tempo entre o instante em que o pedal do freio foi movimentado mais de 5% de seu curso e o instante em que a velocidade passou a ser igual ou inferior a 3,6 km/h. Dessa forma, a taxa média de desaceleração tornou-se linear e constante no tempo. Fica evidente que esta abordagem somente permite verificar a magnitude da desaceleração aplicada pelo motorista ao longo do processo.

Ao se observar as curvas de *velocidade x tempo*, percebe-se claramente a existência de três trechos. O primeiro trecho do perfil de velocidade refere-se à adaptação do motorista e à resposta do veículo até atingir a desaceleração desejada pelo motorista.

No segundo estágio, a desaceleração é praticamente constante e representa a desaceleração que o motorista considera necessária para parar na distância disponível. O trecho final representa o ajuste final da posição de parada do veículo, ou seja, reflete a desaceleração aplicada para posicionar o veículo junto da faixa de retenção.

Para exemplificar, da Figura 5.4 a Figura 5.6 apresentam-se os perfis de velocidade dos motoristas para as distâncias de ativação da fase amarela estudadas (55, 66 e 88 m, respectivamente). A comparação das curvas de diferentes distâncias de ativação da fase amarela demonstra haver diferença na inclinação da reta no segundo trecho das curvas de desaceleração; porém, para uma mesma distância de ativação da fase amarela as curvas apresentam comportamento similar.

Figura 5.4 - Perfis de velocidade observados durante a desaceleração (DAA de 55 m)

Figura 5.5 - Perfis de velocidade observados durante a desaceleração (DAA de 66 m)

Figura 5.6 - Perfis de velocidade observados durante a desaceleração (DAA de 88 m)

A Figura 5.7 mostra os perfis das velocidades médias durante a desaceleração em cada distância de ativação da fase amarela. Os pontos na Figura 5.7 correspondem às médias da velocidade após o início da pressão do pedal do freio pelos motoristas, a cada décimo de segundo. Percebe-se um comportamento monotônico linear descendente entre 60 km/h e 15 km/h (linhas horizontais mais espessas), referente ao segundo trecho do perfil de velocidade. Este trecho linear da curva foi considerado como aquele no qual

os motoristas aplicam a desaceleração que consideram necessária para parar na distância disponível.

Figura 5.7 - Perfis de velocidade médias observados para cada DAA analisada

Assim, optou-se por trabalhar, na comparação entre fatores, com os dados de aceleração referentes à variação de velocidade de 60 km/h até 15 km/h, desconsiderando os dados das partes iniciais e finais das curvas. Essa restrição permite comparar a desaceleração considerada necessária pelo motorista para sua parada e evita que o ajuste do veículo (trecho inicial da curva) e dos motoristas (trecho final da curva) influenciem ou ocultem diferenças entre os grupos de motoristas avaliados.

5.1.2. Análise dos dados na desaceleração de 60 para 15 km/h

As desacelerações usadas para redução de velocidade de 60 para 15 km/h foram avaliadas com o teste ANOVA de fator único (alfa 0,05; 95% de confiança). Os fatores idade, gênero e declividade não apresentaram diferença estatística significativa nos testes.

Para a distância de ativação da fase amarela de 55 m, os resultados obtidos não indicaram diferença estatística entre grupos internos aos fatores analisados. Na ANOVA, o menor valor de p (0,15) ocorreu na comparação entre os grupos do fator gênero. Portanto, os motoristas com distância de ativação da fase amarela de 55 m foram considerados pertencentes a um único grupo com taxa média de desaceleração de 5,49 m/s².

Para a distância de ativação da fase amarela de 66 m, não foi detectada diferença estatisticamente significativa nos resultados dos testes feitos com ANOVA. Novamente o fator gênero apresentou o menor valor de p (0,11), mas novamente foi superior ao limite de 0,05 para 95% de confiança. Portanto, pode-se admitir uma única taxa média de desaceleração de 4,53 m/s².

Para a distância de ativação da fase amarela de 88 m, também não foi encontrada diferença significativa entre grupos internos aos fatores estudados. A declividade e o gênero apresentaram os menores valores de p , com indícios de diferença entre seus grupos internos (p de 0,10 e 0,15, respectivamente). Assim, uma única taxa média de desaceleração, de 3,21 m/s², pode ser considerada representativa para o grupo de motoristas observados.

Nas análises entre os grupos que compõem os fatores avaliados, a hipótese nula (de que as médias dos valores de desaceleração entre grupos internos aos fatores são iguais) não pode ser rejeitada. Logo, em nenhuma distância de ativação da fase amarela justificou-se a separação dos dados em grupos independentes em função da idade, gênero ou declividade. Porém, para o fator declividade, deve-se ressaltar que trata-se apenas da coleta de dados em uma única rampa. Os valores médios e 85º percentis para a desaceleração se encontram na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Valores médios e 85° percentis da desaceleração para cada DAA, de 60 até 15 km/h e 3% de declividade

DAA (m)	Aceleração (m/s ²)	
	Média	85°
55	-5,49	-4,98
66	-4,53	-3,87
88	-3,21	-2,86

5.1.3. Modelo Matemático

O primeiro passo para propor um modelo que represente o comportamento dos motoristas foi estudar a distribuição dos dados de desaceleração. A Figura 5.8 apresenta os dados de aceleração média observada para os motoristas avaliados. As desacelerações médias seguem uma distribuição normal. Como esperado, quanto mais próximo da interseção, maior a desaceleração média observada. A amplitude dos dados manteve-se similar, independente da distância do veículo para a faixa de retenção, e os dados concentraram-se em torno da média.

Figura 5.8 - Distribuição dos dados de aceleração média em função da posição em que houve início da pressão do pedal do freio

Um total de 566 curvas de desaceleração em função do tempo foram avaliadas nas distâncias de ativação da fase amarela de 55, 66 e 88 m. Para a elaboração do mode-

lo matemático os trechos iniciais e finais das curvas de desaceleração foram novamente considerados e o intervalo de tempo de cada desaceleração teve início no instante em que o motorista moveu o pedal do freio mais do que 5% de seu curso e encerrou-se quando a velocidade se tornou igual ou inferior a 3,6 km/h.

A busca para identificar a equação com melhor ajuste aos dados de campo foi feita com análises visuais e com o software Statistica. Após essas análises, percebeu-se que um modelo polinomial quadrático oferece precisão adequada na representação dos dados da aceleração em função do tempo, conforme indica a Figura 5.9.

Figura 5.9 - Exemplo de curva de desaceleração em função do tempo (real e modelo obtido por regressão) para um motorista que recebeu a fase amarela a 66 m ($R^2 = 0,99$)

Assim, foram geradas equações polinomiais do segundo grau para representar cada uma das curvas de desaceleração observadas. Os modelos relacionam a aceleração ao tempo decorrido após movimento superior a 5% do curso do pedal do freio, ou seja, após o tempo de percepção e reação de desaceleração. Os modelos para cada motorista, gerados por regressão, encontram-se no anexo III. Os modelos gerados não levam em consideração a idade, o gênero ou a declividade, pois, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas com relação a esses grupos.

Para cada modelo foram determinados três coeficientes (α , β e φ). O valor de R^2 auxiliou na verificação da fidelidade de cada modelo gerado a partir dos dados obtidos pelo DAS. O coeficiente φ refere-se à constante da equação polinomial, que pode ser considerado como a desaceleração inicial de cada modelo no instante de tempo zero, ou no instante subsequente ao final do tempo de percepção e reação do motorista. Esta desaceleração é aquela a que o veículo é submetido quando o motorista reduz a pressão no acelerador, deixando de aplicar certa quantidade de força motriz ao carro. O modelo sugerido é representado pela equação:

$$a = \alpha \cdot t^2 + \beta \cdot t + \varphi \quad (5.1)$$

sendo a : aceleração (m/s^2);
 t : tempo (s); e
 α , β e φ : coeficientes do modelo.

Os valores de R^2 apontam que o modelo polinomial de segundo grau foi suficiente para representar fielmente o comportamento de desaceleração em função do tempo – para os motoristas observados que pararam após a indicação da fase amarela. O histograma da Figura 5.10 apresenta o resumo dos valores de R^2 observados, separados em grupos a cada 0,10. Percebe-se que os dados de 463 paradas (81,8%) tiveram sua curva de desaceleração representada por um modelo polinomial de segundo grau com R^2 superior a 0,90; ao se considerar um R^2 superior a 0,80, o número de paradas representadas amplia-se para 507 (89,6% da amostra).

Figura 5.10 - Quantidade de motoristas representados por modelos polinomiais em cada faixa de R^2

Os coeficientes α , β e φ foram agrupados após a geração dos modelos. Esta base de dados foi usada para verificar a correlação entre os coeficientes e a posição do veículo em relação à faixa de retenção no início da frenagem. O teste de correlação de Pearson permitiu verificar quão significativa foi a dependência entre os coeficientes e a posição do veículo no instante em que houve movimento do pedal do freio superior a 5%. A posição inicial do veículo foi obtida nos dados coletados pelo DAS.

A Tabela 5.3 apresenta o resultado do teste de correlação de Pearson. Percebe-se haver forte correlação negativa entre os coeficientes α e β , assim, na Figura 5.11, quanto maior o valor do coeficiente β menor o coeficiente α ; esse fato é comprovado pelo elevado R^2 de ajuste da reta relacionando os coeficientes α e β , de 0,925.

Tabela 5.3 - Correlação entre coeficientes e entre a posição inicial do veículo ao iniciar a frenagem

	Posição Inicial	Coefficiente α	Coefficiente β	Coefficiente φ
Posição Inicial	1	-0,842	0,890	0,073
Coefficiente " α "		1	-0,962	-0,069
Coefficiente " β "			1	-0,135
Coefficiente " φ "				1

Figura 5.11 - Coeficiente α versus coeficiente β

Em relação à correlação com a posição inicial do veículo no início da pressão do pedal do freio, na Tabela 5.3 se observa a existência de forte correlação negativa com coeficiente α e forte correlação positiva com o coeficiente β . Essas tendências são visualizadas na Figura 5.12, que agrupa os coeficientes α e β obtidos e as retas que melhor se ajustam para representar cada coeficiente em função da distância inicial do veículo. O coeficiente φ não apresentou correlação significativa em nenhuma das comparações, como pode ser observado na Tabela 5.3 e Figura 5.13.

Figura 5.12 - Coeficientes (α e β) versus posição inicial do veículo em relação à faixa de retenção

Figura 5.13 - Coeficiente (ϕ) versus posição inicial do veículo em relação à faixa de retenção

Mesmo sem a existência de correlação significativa, na Figura 5.13, percebe-se que o *range* para o coeficiente ϕ se concentra entre zero e -2. Esse fato é comprovado pelo fato de que, durante o tempo de percepção e reação, o veículo fica sujeito às resistências de rolamento e do ar, o que implica em uma desaceleração inicial. A média de todos os coeficientes ϕ obtidos foi de -1,09, com desvio padrão de 0,59. O valor obtido de desaceleração do veículo no instante de tempo zero ($1,09 \text{ m/s}^2$) é similar ao proposto pelo ITE (1992), de aproximadamente $1,0 \text{ m/s}^2$ – para veículos trafegando em alta velocidade, sujeitos às resistências ao movimento e sem usar o freio.

Portanto, uma aproximação por um modelo linear tende a não representar com fidelidade a nuvem de pontos do coeficiente ϕ . Isso é comprovado pelo baixo R^2 (0,0417, apresentado na Figura 5.13) e pela baixa correlação obtida (0,073, apresentado na Tabela 5.3). Assim, unindo a percepção de que a nuvem de pontos forma-se em torno de -1,0 (com dados de posições iniciais entre 30 e 80 metros da faixa de retenção) e visando simplificar o modelo, sugere-se que o coeficiente ϕ adotado seja -1,0, de acordo com o valor sugerido pelo ITE (1992).

Para os coeficientes α e β , em que houve correlação com a distância de início da pressão do pedal do freio, foi realizado o teste de significância dos coeficientes angulares dos modelos lineares que os representam. A hipótese nula consistiu em que não há relação linear entre a distância inicial e cada um dos coeficientes (ou seja, o coeficiente angular ajustado para determinar o valor de α ou β seria nulo). Nas análises, o valor da estatística p foi inferior a 0,001 e a hipótese nula foi rejeitada, nos testes individuais, a cada coeficiente. Logo, há relação linear significativa entre a posição do veículo no início da pressão do pedal do freio e cada um dos coeficientes (α e β).

Outro teste realizado com os modelos gerados para representar cada parada na interseção foi o de comparar as acelerações máximas observadas em campo pelo DAS com as acelerações máximas estimadas pelo modelo (obtidas do ponto em que o valor da derivada de cada equação se anula). Na Figura 5.14, percebe-se que as acelerações máximas observadas em campo e as acelerações máximas dos modelos matemáticos obtidos são próximas, o que demonstra a boa adequação do modelo aos dados – exceto por alguns pontos, gerados por motoristas que, durante o procedimento de parada, intercalaram pressão e não pressão do pedal do freio, produzindo uma curva de desaceleração não bem representada por equação polinomial de segundo grau.

Figura 5.14 - Aceleração máxima observada x aceleração máxima estimada para os modelos gerados

Como discutido anteriormente, foi determinada uma relação em que os valores dos coeficientes α e β variam em função da posição inicial do veículo no instante que o motorista pressiona o pedal do freio. Para esses coeficientes, foram determinadas retas que substituem os coeficientes α e β , os quais serão determinados em função da distância do veículo para a faixa de retenção no instante de início da pressão do pedal do freio. O coeficiente φ adotado foi de -1,0.

Assim, a equação que representa a desaceleração do veículo que se aproxima da interseção passa a ser função da distância inicial do veículo para a interseção (DTI) após o tempo de percepção e reação. Para os dados de campo obtidos pelo DAS, propõe-se que a equação:

$$a = (-0,0207 \cdot DTI + 1,8262) \cdot t^2 + (0,0772 \cdot DTI - 7,4555) \cdot t - 1,0 \quad (5.2)$$

sendo a : aceleração (m/s²);
 t : tempo (s); e
 DTI : distância até a interseção quando o pedal do freio é acionado (m).

seja suficiente para representar o processo de desaceleração. O modelo é válido para posições iniciais de pressão do pedal do freio entre 80 e 30 metros da faixa de retenção, pois, segundo as condições de contorno do teste, motoristas com distância inferior a aproximadamente 30 m deveriam transpor a interseção por não terem condições de frear com segurança; e motoristas com distância para a faixa de retenção superior a 80 m deveriam parar na interseção, porém, já com uma taxa de desaceleração confortável e sem dúvidas quanto à sua decisão.

Modelo matemático de desaceleração considerando três níveis de agressividade

Como alternativa ao modelo geral apresentado na equação 5.2, também se estudou a possibilidade de divisão dos motoristas em três categorias, representados por equações com coeficientes α e β variando em função da agressividade dos motoristas ao desacelerar. As análises e considerações feitas para o modelo geral foram aplicadas para gerar modelos que representam motoristas em três grupos: não-agressivos, intermediários (ou medianos) e agressivos. As distâncias de ativação da fase amarela auxiliaram na separação dos grupos de motoristas.

Para cada uma das distâncias de ativação da fase amarela (55, 66 e 88 m) os coeficientes das equações foram separados em três grupos com igual quantidade de elementos, cada uma referente a um dos três grupos propostos. Por se tratar de um modelo polinomial de segundo grau, o critério usado para diferenciar os grupos foi a desaceleração máxima atingida pelos motoristas (obtida no ponto em que a primeira derivada do modelo se anula). Assim, foram geradas as retas representativas dos coeficientes α e β para os três grupos, que estão apresentadas na Figura 5.15 (a, b e c). O coeficiente φ para os modelos foi mantido em -1,0, como no modelo geral.

Figura 5.15 - Coeficientes α e β versus posição inicial do veículo em relação à faixa de retenção para os grupos de motoristas em função da agressividade

Assim, são propostas as equações:

$$a = (-0,0258 \cdot DTI + 2,2275) \cdot t^2 + (0,0951 \cdot DTI - 8,9610) \cdot t - 1,0 \quad (\text{agressivo}) \quad (5.3)$$

$$a = (-0,0194 \cdot DTI + 1,7354) \cdot t^2 + (0,0709 \cdot DTI - 6,9905) \cdot t - 1,0 \quad (\text{intermediário}) \quad (5.4)$$

$$a = (-0,0142 \cdot DTI + 1,3325) \cdot t^2 + (0,0542 \cdot DTI - 5,6217) \cdot t - 1,0 \quad (\text{não agressivo}) \quad (5.5)$$

sendo a : aceleração (m/s^2);
 t : tempo (s); e
 DTI : distância para a interseção no início da pressão do pedal do freio (m).

para representar os motoristas com comportamento agressivo, intermediário e não agressivo, respectivamente. Essas equações, como no modelo geral, determinam o comportamento da desaceleração do veículo, para motoristas que decidem parar, em função da distância inicial para a faixa de retenção no primeiro instante após o final do tempo de percepção e reação de desaceleração.

5.2. Considerações finais

O objetivo de compreender, avaliar e modelar a forma como os motoristas se comportam ao desacelerar seus veículos após a indicação da fase amarela, foi atingido. Modelos matemáticos permitem seu uso em simuladores – um dos objetivos da pesquisa. Cabe ressaltar que os simuladores atuais permitem adotar diferentes comportamentos para os motoristas virtuais. Logo, caso fossem identificadas diferenças significativas entre grupos internos aos fatores avaliados seriam gerados modelos representativos a cada um.

Independente da distância de ativação da fase amarela, ao se considerar a desaceleração média aplicada pelos motoristas para parar após o tempo de percepção e reação, os dados descreveram uma distribuição normal. As desacelerações médias obtidas para as distâncias de ativação da fase amarela de 55 (4,17 m/s²) e 66 m (3,62 m/s²) foram superiores ao valor de 3,40 m/s² – proposto como limite para desacelerações confortáveis por Millazo *et al.* (2002) e Hicks *et al.* (2005).

O estudo para verificar diferenças internas aos grupos dos fatores idade, gênero e declividade poderia ser feito com todo o período de desaceleração, porém, essa análise seria simplista em vista da qualidade dos dados coletados. Uma análise visual da curva *velocidade x tempo* já demonstra que ela é formada por três trechos: início da resposta

do veículo devido a ampliação da pressão do pedal do freio pelo motorista; aceleração considerada necessária pelo motorista para uma parada segura; e ajuste de posição do veículo em relação à faixa de retenção. Desta forma, optou-se por avaliar diferenças entre grupos considerando somente o segundo trecho da curva, referente à uma redução de velocidade de 60 para 15 km/h.

As análises estatísticas dos dados de desaceleração aplicados pelos motoristas para reduzir a velocidade de 60 para 15 km/h não indicou haver diferença entre os grupos que compõem os fatores avaliados. Assim, independente dos fatores avaliados, são propostos, respectivamente, os seguintes valores de desaceleração média e 85º percentil para as distâncias de ativação da fase amarela de 55, 66 e 88 m: 5,49 m/s² e 4,98 m/s²; 4,53 m/s² e 3,87 m/s²; e 3,21 m/s² e 2,86 m/s².

Para modelar o comportamento dos motoristas ao desacelerar após o final do tempo de percepção e reação foi escolhido um modelo quadrático. Esse modelo apresentou elevado grau de ajuste aos dados do comportamento dos motoristas em campo. Dentre os três coeficientes necessários para o modelo, dois apresentaram correlação com a distância em que houve movimento superior a 5% do curso do pedal do freio do veículo. Para o coeficiente em que não foi encontrada correlação, a literatura e a faixa de dispersão dos dados sugerem que o valor -1,0 fornece boa aproximação – o que implica assumir uma desaceleração inicial de -1,0 m/s² para o modelo apresentado.

Na pesquisa foi proposto também o estudo do comportamento dos motoristas em função de sua agressividade. Esse estudo foi feito com a consideração de três grupos de motoristas: não agressivo, intermediário e agressivo. A separação dos motoristas, enquadrando-os em um grupo, foi feita em função da máxima desaceleração aplicada. Os

modelos apresentados mostram a desaceleração aplicada pelos motoristas em função do tempo e da distância inicial de pressão do pedal do freio ou término do tempo de percepção e reação. Quanto mais agressivo o grupo de motoristas, maior a desaceleração máxima encontrada no modelo proposto.

Cabe ressaltar que, por se tratar de modelo polinomial, deve-se impor critério de interrupção de sua aplicação em função do tempo. Isto porque no modelo, após certo incremento de tempo, são encontrados valores positivos, o que corresponde não mais a uma desaceleração e sim, a uma aceleração, o que é incorreto. Devem ser estudadas diferentes formas de interromper a aplicação do modelo; porém, uma alternativa para os modelos computacionais seria a aplicação de uma taxa constante e decrescente com o tempo, como a proposta por Huff e Scrivner (1955) ou até mesmo a aplicação de taxa de desaceleração final que garanta a parada do veículo próximo à faixa de retenção, baseada em modelos de *car following*.

Seria interessante que fossem feitas novas pesquisas, com coleta de dados em diferentes velocidades. Também são importantes novas coletas em diferentes situações de tráfego, para completar a coleta de dados desta pesquisa, que usou o veículo trafegando isoladamente em uma rodovia.

6. COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS NA ACELERAÇÃO

Na partida da interseção, o modo como os motoristas reiniciam o movimento após a indicação da fase verde permite identificar a verdadeira potência usada e a que taxa é feita a retomada da velocidade. Assim, este capítulo é desenvolvido com os mesmos objetivos do capítulo anterior, porém, focando o comportamento de aceleração na partida de uma interseção semaforizada. Foram avaliadas possíveis diferenças entre taxas de aceleração de grupos de indivíduos e são apresentados modelos que exprimem os comportamentos observados durante os experimentos.

O capítulo inicia-se com análises descritivas dos dados de aceleração. Em seguida, são testados estatisticamente grupos de motoristas separados em função dos fatores idade, gênero e declividade. Ao final, são propostos modelos matemáticos que exprimem o comportamento geral de aceleração dos motoristas no tempo e em função da taxa de aceleração de motoristas com diferentes níveis de agressividade.

6.1. Aceleração

O estudo das acelerações observadas em campo usou dados dos motoristas que optaram por parar após a indicação de amarelo. Foram incluídos na análise os dados da distância de ativação da fase amarela de desaceleração de 111 m. A inclusão desses dados justifica-se pelo fato de os motoristas partirem próximos à faixa de retenção na mudança da fase vermelha para a verde e da consideração de que a distância de ativação da fase amarela de desaceleração não exerce influência na aceleração.

Os dados de um mesmo motorista, em função da declividade e da aceleração no tempo, foram separados para obter perfis médios de velocidade e de aceleração. Ao fi-

nal, esperavam-se 120 perfis médios de aceleração e velocidade – 60 para o aclave e 60 para o declive. Porém, um motorista (idoso e masculino) não parou na interseção no aclave, o que implicou em um tamanho de amostra com 119 perfis médios.

A aceleração média de cada um dos perfis médios foi calculada. O teste Kolmogorov-Smirnov ($d = 0,11$; $d_c = 0,31$) e a quantidade de dados existentes a cada desvio padrão ($1\sigma \rightarrow > 68\%$; $2\sigma \rightarrow > 95\%$) não rejeitam a hipótese de que as acelerações médias usadas pelos motoristas ao partir da interseção seguem uma distribuição normal, como visto no histograma da Figura 6.1. A aceleração média usada foi de $1,61 \text{ m/s}^2$, e um resumo dos valores para a aceleração é apresentado na Tabela 6.1.

Figura 6.1 - Histograma para os dados de aceleração

Tabela 6.1 - Principais valores obtidos para o comportamento dos motoristas na aceleração

N	Mínimo (m/s ²)	IC - Lim. Inferior (m/s ²)	Desvio Padrão (m/s ²)	Média (m/s ²)	IC - Lim. Superior (m/s ²)	85° Percentil (m/s ²)	Máximo (m/s ²)
119	0,96	1,55	0,33	1,61	1,67	1,92	3,02

Também foi estudado o comportamento das acelerações médias em função da idade, gênero e declividade. A Tabela 6.2 apresenta valores para a média e 85° percentil de aceleração em função dos fatores avaliados. Para a idade e para o gênero os valores

entre grupos internos aos fatores são similares; para a declividade observa-se uma possível diferença na aceleração média entre motoristas no aclive e declive. Essas suposições são verificadas, estatisticamente, no próximo item.

Tabela 6.2 – Valores de aceleração, por fator avaliado

	Idade (s)		Gênero (s)		Declividade (s)	
	Jovem	Idoso	Masculino	Feminino	Declive	Aclive
Média	1,63	1,59	1,65	1,57	1,48	1,74
85°	1,91	1,93	1,92	1,93	1,74	1,99

6.1.1. Análise dos dados de aceleração

A partir dos dados das 119 acelerações (Figura 6.2), foram comparados grupos de motoristas em função dos fatores gênero, idade e declividade. O início da aceleração foi vinculado a um movimento superior à 5% do curso no pedal do acelerador após o tempo de percepção e reação (TPR) de aceleração. Por se admitir que os dados de partida da interseção (aceleração) seguem uma distribuição normal, conforme mostrado no item 6.1, foi usado o teste ANOVA para comparação entre grupos.

Figura 6.2 - Perfis de velocidade médio obtidos em campo

Na etapa de preparação dos dados, identificou-se que, semelhante à desaceleração, os perfis de velocidade na aceleração apresentam três segmentos. O primeiro representa, aproximadamente, os dois segundos iniciais da aceleração, encerrando-se com velocidades entre 7 e 20 km/h. Cabe ressaltar, como já discutido acerca dos trabalhos de Wang *et al.* (2004) e Rakha *et al.* (2004) no item 3.4.4, que os modelos matemáticos (como o polinomial) têm dificuldade em representar os primeiros instantes da aceleração.

O segundo trecho é composto por uma parábola na qual a taxa de crescimento da velocidade se reduz com o tempo. No terceiro segmento, a aceleração é praticamente nula e o motorista supostamente já adquiriu a velocidade desejada. Esse último trecho não pode ser observado claramente nos dados coletados em campo, uma vez que o tempo de coleta (vinculado à distância percorrida após a partida da interseção) não foi suficiente para a retomada da velocidade de equilíbrio, de 72 km/h.

O estudo de diferenças entre grupos em função dos fatores avaliados foi auxiliado por curvas referentes à média e ao 85º percentil. Nas Figura 6.3, Figura 6.4 e Figura 6.5 apresentam-se as curvas em função da idade, do gênero e da declividade, respectivamente.

Figura 6.3 - Curvas médias e de 85° percentil da velocidade em função da idade dos motoristas

Figura 6.4 - Curvas médias e de 85° percentil da velocidade em função do gênero dos motoristas

Figura 6.5 - Curvas médias e de 85º percentil da velocidade em função da declividade da via

O conjunto de curvas de velocidade média e 85º percentil (da Figura 6.3 até a Figura 6.5) apresentam tendência de crescimento constante. Mesmo havendo, no início da aceleração, um trecho com menor ganho de velocidade, as variações na declividade da curva são mais suaves do que as observadas na desaceleração. Dessa forma, a análise considerou todo o intervalo de dados, sem exclusão dos trechos iniciais e finais.

Os resultados da ANOVA indicam diferença estatisticamente significativa para a declividade ($p = 0,01$). Esta diferença pode ser observada na Figura 6.5, na qual se percebe, claramente, que a curva de velocidade para os dados de 85º percentil no declive é similar à curva de velocidade média no aclive. Como esperado, pela atuação das componentes de peso do veículo a favor e contra o reinício do movimento, a aceleração no declive foi superior à aceleração no aclive. Idade e gênero não produziram diferenças estatisticamente significativas ($p = 0,59$ e $0,26$, respectivamente).

Portanto, sugere-se considerar grupos distintos para motoristas que partem da interseção em declividades diferentes. Estudos futuros, considerando diferentes declivida-

des, devem indicar os intervalos de declividade que devem ser adotados para diferenciar as acelerações dos motoristas.

Na Tabela 6.3 são apresentados os valores de média e 85º percentil de aceleração em função da declividade. Observa-se que a diferença entre médias e 85º percentis do aclave e declive foi de 0,25 m/s²; inferior ao esperado (0,6 m/s² ou 0,06g) ser causado pela diferença de 6% na declividade (de -3% até 3%).

Tabela 6.3 - Médias e 85º percentis da aceleração de veículos partindo da interseção – declividade 3%

	Aclave (m/s ²)	Declive (m/s ²)
Média	1,48	1,74
85º	1,74	1,99

6.1.2. Modelo matemático para a aceleração

O início de cada curva de aceleração foi marcado pelo primeiro décimo de segundo após movimento superior a 5% do pedal do acelerador – ou o final do tempo de percepção e reação de aceleração. O encerramento de cada curva foi vinculado ao décimo de segundo final de coleta de dados do DAS. Foram obtidas 792 curvas de aceleração de partida da interseção – 397 no declive e 395 no aclave.

A Figura 6.6 apresenta uma amostra do conjunto de curvas de aceleração em função do tempo em que se percebe um acentuado crescimento da aceleração nos instantes iniciais. Percebe-se que a taxa de crescimento se reduz com o tempo a partir do ponto de máxima aceleração, até atingir a velocidade de equilíbrio. Após atingir a velocidade de equilíbrio espera-se observar variações de aceleração inferiores a 0,6 m/s² (Brackstone, 2003).

Figura 6.6 - Conjunto de curvas de aceleração dos motoristas partindo da interseção em função do tempo

Nos histogramas da Figura 6.7 (a) e (b) são apresentadas as distribuições dos dados de tempo necessário para os motoristas aplicarem a máxima aceleração. O teste de Kolmogorov-Smirnov não rejeitou a hipótese de que ambas as distribuições são aderentes à distribuição normal (declive: $d = 0,02$; $d_c = 0,24$; active: $d = 0,05$; $d_c = 0,24$). Os valores médios do tempo para atingir a máxima aceleração, no declive e no active, foram de 2,19 s e 1,80 s, respectivamente. O desvio padrão dos dados para o declive foi de 0,45 s, e de 0,33 s para o active.

Figura 6.7 - Histograma para os dados do tempo necessário para atingir a máxima aceleração na partida da interseção (a) no declive e (b) no active

Após testes com diferentes funções matemáticas, nesta pesquisa é proposto que a partida dos motoristas de uma interseção seja representada por um modelo composto por duas equações independentes. Para o primeiro trecho o melhor ajuste foi obtido por uma função sigmóide (semelhante a um modelo gerado por regressão logística). Para o segundo trecho foi observado que um modelo linear apresentou ajuste satisfatório. O modelo é unido no ponto de interseção das duas equações; nesse instante há a máxima aceleração. O modelo proposto segue as equações:

$$a = \begin{cases} \frac{k_1}{1 + e^{k_2 \cdot (t + k_3)}}, & \text{para } t \leq t_{\text{máxima aceleração}} \\ V_1 \cdot t + \theta, & \text{para } t > t_{\text{máxima aceleração}} \end{cases} \quad (6.1)$$

sendo a : aceleração (m/s²);
 t : tempo (s);
 $t_{\text{máxima aceleração}}$: tempo para atingir a máxima aceleração (s);
 k_1, k_2 e k_3 : coeficientes do modelo – função sigmóide; e
 V_1 e θ : coeficientes do modelo – função linear.

O software Statistica, versão 7, foi usado para obter os coeficientes (k_1 , k_2 e k_3) da função sigmóide e os coeficientes (V_1 e θ) da função linear. Em todos os modelos gerados para a função sigmóide, independente da declividade, o valor de R^2 foi superior a 0,980. O teste Kolmogorov-Smirnov foi usado para verificar a distribuição dos valores obtidos para os coeficientes k_1 [(declive: $d = 0,06$; $d_c = 0,24$); (aclive: $d = 0,07$; $d_c = 0,26$)], k_2 [(declive: $d = 0,07$; $d_c = 0,24$); (aclive: $d = 0,06$; $d_c = 0,26$)] e k_3 [(declive: $d = 0,20$; $d_c = 0,24$); (aclive: $d = 0,16$; $d_c = 0,26$)] sigam uma distribuição normal.

Com os coeficientes determinados, buscou-se identificar de que forma eles interferem no comportamento da curva gerada até o ponto de máxima aceleração. O coefici-

ente k_1 coincide com a máxima aceleração que a curva gerada pela sigmóide pode obter. O coeficiente k_2 influencia no deslocamento do início da curva em relação ao ponto zero na abscissa. O coeficiente k_3 modela a forma do comportamento do trecho inclinado da curva gerada.

O conjunto de dados foi separado entre motoristas com o veículo partindo da interseção no aclave ou declive já que os resultados das análises estatísticas identificaram um efeito da declividade sobre a aceleração. A Tabela 6.4 apresenta valores dos coeficientes k_1 , k_2 e k_3 para os motoristas observados. A mediana e a média de cada coeficiente apresentaram valores semelhantes, no declive e no aclave.

Tabela 6.4 - Faixa de valores dos coeficientes k_1 , k_2 e k_3

DECLIVE				ACLIVE			
	k_1	k_2	k_3		k_1	k_2	k_3
Máximo	4,202	-1,369	-0,150	Máximo	3,725	-1,888	-0,271
99%	3,715	-1,687	-0,180	99%	3,636	-1,962	-0,356
85%	2,934	-2,165	-0,286	85%	2,650	-2,396	-0,470
67%	2,721	-2,366	-0,348	67%	2,442	-2,682	-0,549
Média	2,590	-2,524	-0,423	Média	2,298	-2,810	-0,645
Mediana	2,555	-2,524	-0,399	Mediana	2,275	-2,845	-0,627
33%	2,414	-2,698	-0,460	33%	2,128	-2,989	-0,716
15%	2,239	-2,924	-0,539	15%	1,958	-3,175	-0,841
1%	1,806	-2,924	-0,539	1%	1,500	-3,175	-0,841
Mínimo	1,683	-3,360	-1,884	Mínimo	1,378	-3,662	-1,192
Coeficientes ($a_{\text{máx}}$)	4,689	-3,358	-0,821	Coeficientes ($a_{\text{máx}}$)	4,066	-3,524	-0,657
N	397			N	395		

O segundo trecho da curva de aceleração em função do tempo se inicia após a máxima aceleração. Nesta pesquisa foi admitido que a taxa com que a aceleração varia no segundo trecho é constante e regida pelo coeficiente angular da equação linear (coeficiente V_1 da equação 6.1). O valor do R^2 de ajuste dos modelos lineares aos dados coletados em campo foi elevado: média de 0,958 para o declive e de 0,952 para o aclave.

Na Tabela 6.5, valores negativos de V_1 indicam que a aceleração aplicada pelo motorista ao veículo diminui com o tempo a partir da máxima aceleração. O valor da constante θ representa o ponto em que, ao se prolongar a reta ajustada, ocorre o cruzamento com o eixo da ordenada.

Tabela 6.5 - Coeficientes V_1 e θ obtidos para os dados de campo

DECLIVE			ACLIVE		
	V_1	θ		V_1	θ
Máximo	0,002	7,220	Máximo	0,281	4,802
99%	-0,058	4,926	99%	-0,004	4,490
85%	-0,182	3,797	85%	-0,136	3,276
67%	-0,289	3,435	67%	-0,182	2,991
Média	-0,327	3,213	Média	-0,224	2,794
Mediana	-0,335	3,194	Mediana	-0,221	2,746
33%	-0,376	2,996	33%	-0,261	2,583
15%	-0,442	2,579	15%	-0,313	2,305
1%	-0,597	2,579	1%	-0,542	2,305
Mínimo	-1,545	1,330	Mínimo	-0,645	0,670
N	397		N	395	

Deve-se ressaltar que o modelo proposto para representar o primeiro trecho (função sigmóide) tende a atingir o valor do coeficiente k_1 somente após certo tempo. Isto faz com que o início do segundo trecho seja postergado e cause um tempo excessivo de aplicação de uma aceleração elevada, o que não condiz com a realidade. Portanto, na formulação do modelo, sugere-se que as equações (sigmóide e linear) sejam iguais; no ponto de interseção é obtida a máxima aceleração.

As principais curvas obtidas para representar o comportamento de aceleração dos motoristas ao partir da interseção no declive (do 15° ao 85° percentil) são apresentadas na Figura 6.8; na Figura 6.9 são apresentadas as curvas para o aclave. As curvas referentes à média e a mediana são similares. Cabe ressaltar que modelos matemáticos são sujeitos a distorções, como o fato da curva referente ao 85° percentil apresentar elevado tempo de aplicação de uma aceleração próxima a uma aceleração máxima. Porém,

percebe-se consistência no comportamento inicial de aceleração (modelado pela função sigmóide) e um *range* com curvas que permitem a modelagem do comportamento dos motoristas ao partir de uma interseção semaforizada. Uma boa representação da aceleração aplicada pelos motoristas ao partir da interseção é obtida com o uso do modelo com os coeficientes médios de k_1 , k_2 , k_3 , V_1 e θ .

Figura 6.8 - Conjunto de curvas dos modelos de aceleração para partidas da interseção no declive

Figura 6.9 - Conjunto de curvas dos modelos de aceleração para partidas da interseção no active

Os modelos que representam o comportamento médio dos motoristas partindo da interseção no declive e no aclave, respectivamente, são apresentados nas equações:

$$\text{declive: } a = \begin{cases} \frac{2,590}{1 + e^{-2,524 \cdot (t - 0,423)}}, & \text{para } t \leq 1,94 \text{ s} \\ -0,327 \cdot t + 3,213, & \text{para } t > 1,94 \text{ s} \end{cases} \quad (6.6)$$

$$\text{aclive: } a = \begin{cases} \frac{2,298}{1 + e^{-2,810 \cdot (t - 0,645)}}, & \text{para } t \leq 2,22 \text{ s} \\ -0,224 \cdot t + 2,794, & \text{para } t > 2,22 \text{ s} \end{cases} \quad (6.7)$$

sendo a : aceleração (m/s^2); e
 t : tempo (s).

Ao se igualar as equações sigmóide e linear, foi obtido que a máxima aceleração no declive ocorre após 1,94 s de uma pressão superior a 5% do pedal do acelerador; no aclave o modelo proposto atinge a máxima aceleração após 2,22 s. As curvas para os modelos propostos (aclive e declive) representando o comportamento médio dos motoristas observados ao partir da interseção são apresentadas na Figura 6.10.

Figura 6.10 - Modelos de aceleração determinados para a aceleração de veículos partindo da interseção, considerando os valores médios dos coeficientes determinados

Os coeficientes das equações encontradas para cada partida da interseção, tanto no trecho representado pela sigmóide quanto no trecho linear, são apresentadas no anexo IV. A Figura 6.11 e a Figura 6.12 apresentam a comparação entre os dados obtidos pelo DAS e as curvas de aceleração média geradas pelos modelos para o declive e aclive, respectivamente.

Figura 6.11 - Curvas de aceleração observadas e o modelo proposto (curva espessa em preto) para representar os motoristas partindo no declive

Figura 6.12 - Curvas de aceleração observadas e o modelo proposto (curva espessa em preto) para representar os motoristas partindo no aclive

Foram também coletados dados sobre a aceleração máxima que o veículo seria capaz de desenvolver no aclave e no declive. O conhecimento da máxima aceleração do veículo permite a comparação com as acelerações aplicadas pelos motoristas durante a coleta de dados.

Modelo para potência máxima

Foram gerados modelos (com determinação dos coeficientes k_1 , k_2 e k_3) de oito passagens do veículo sob máxima aceleração – quatro em aclave e quatro em declive. Confirmando o esperado, na Tabela 6.6 percebe-se a grande proximidade entre os coeficientes obtidos em uma mesma declividade, o que se comprova pelo baixo desvio padrão. A média do coeficiente k_1 (com mesmo valor da máxima aceleração) no declive (4,69) foi 0,62 superior ao valor obtido para o aclave (4,07). Essa variação de aproximadamente 0,6 m/s² na aceleração reflete o efeito da ação da força da gravidade (0,06g) com a diferença de 6% entre as declividades de -3% e 3%. Os valores médios dos coeficientes k_1 obtidos foram adotados como as acelerações máximas possíveis do veículo de testes no declive (4,69 m/s²) e no aclave (4,07 m/s²).

Tabela 6.6 - Coeficientes dos modelos matemáticos para as passagens com aceleração máxima

Declive				Aclave			
Passagem	k_1	k_2	k_3	Passagem	k_1	k_2	k_3
1 - Declive	4,67	-3,38	-0,68	1 - Aclave	4,05	-3,64	-0,81
2 - Declive	4,67	-3,35	-0,85	2 - Aclave	4,08	-3,60	-0,72
3 - Declive	4,71	-3,37	-0,84	3 - Aclave	4,06	-3,52	-0,54
4 - Declive	4,71	-3,33	-0,91	4 - Aclave	4,07	-3,53	-0,63
Média	4,69	-3,36	-0,82	Média	4,07	-3,57	-0,68
Desvio Padrão	0,03	0,02	0,10	Desvio Padrão	0,01	0,06	0,11

Para verificar a porcentagem da máxima aceleração disponível pelo veículo usada pelos motoristas ao partir da interseção, foram comparados valores do coeficiente k_1 dos motoristas com o valor médio obtido sob aceleração máxima. A Tabela 6.7 apresen-

ta a porcentagem da aceleração máxima usada pelos motoristas em pontos que permitem caracterizar a distribuição dos dados dos coeficientes.

Tabela 6.7 - Coeficientes k_1 e a porcentagem do uso da máxima aceleração (declive e aclave) para pontos que caracterizam a distribuição dos dados observados

DECLIVE			ACLIVE		
	k_1	% da $a_{máx}$		k_1	% da $a_{máx}$
Máximo	4,202	89,6%	Máximo	3,725	91,6%
99%	3,715	79,2%	99%	3,636	89,4%
85%	2,934	62,6%	85%	2,650	65,2%
67%	2,721	58,0%	67%	2,442	60,1%
Média	2,590	55,2%	Média	2,298	56,5%
Mediana	2,555	54,5%	Mediana	2,275	55,9%
33%	2,414	51,5%	33%	2,128	52,3%
15%	2,239	47,7%	15%	1,958	48,2%
1%	1,806	38,5%	1%	1,500	36,9%
Mínimo	1,683	35,9%	Mínimo	1,378	33,9%
$a_{máx}$	4,689		$a_{máx}$	4,066	
N	397		N	395	

Percebe-se, na Tabela 6.7, que a diferença entre o menor e o maior valor de uso da máxima aceleração permitida pelo veículo é de aproximadamente 55 pontos percentuais, tanto para o declive quanto para o aclave. Porém, na curva de distribuição acumulada (Figura 6.13), pode-se observar que a variação no uso da máxima aceleração entre o 15º e o 85º percentil (referente a 70% dos motoristas) é de aproximadamente 15 pontos percentuais em ambas as declividades, concentrando a maioria dos motoristas em uma mesma faixa de uso da potência do motor. As curvas para o declive e o aclave foram similares. A mediana do uso da porcentagem da máxima aceleração foi de 55,2% no declive e de 56,5% no aclave.

Figura 6.13 - Distribuição acumulada da porcentagem da % da aceleração máxima usada pelos motoristas ao partir de uma interseção semaforizada no active e no declive

Modelo matemático de aceleração considerando três níveis de agressividade

Similar ao proposto para a desaceleração, também é sugerida a criação de três grupos com comportamentos distintos para modelar a aceleração dos motoristas partindo da interseção: não agressivo, intermediário e agressivo. Os modelos são formados com dados desagregados em função da aceleração máxima aplicada pelos motoristas durante os testes.

Para tanto, os valores de k_1 , k_2 e k_3 foram classificados em ordem decrescente do valor de k_1 (que representa o valor da máxima aceleração) e divididos em três grupos. Ao grupo com maiores valores, se atribuiu o comportamento denominado agressivo. O grupo com menores valores de k_1 foi denominado não agressivo e o grupo restante foi denominado intermediário.

Para o segundo trecho da curva, linear, manteve-se a mesma classificação em função do coeficiente k_1 , o que garantiu a continuidade dos dados na transição entre a função sigmóide e a função linear. Deve-se lembrar que o instante de máxima aceleração e de continuidade do modelo gerado pelas duas equações ocorre no ponto de inter-

seção dessas. Para representar o comportamento médio dos motoristas com comportamento não agressivo no declive e no aclave, respectivamente, são apresentados nas equações:

$$\text{declive: } a = \begin{cases} \frac{2,201}{1 + e^{-2,370 \cdot (t - 0,420)}}, & \text{para } t \leq 2,09 \text{ s} \\ -0,269 \cdot t + 2,752, & \text{para } t > 2,09 \text{ s} \end{cases} \quad (6.8)$$

$$\text{aclive: } a = \begin{cases} \frac{1,909}{1 + e^{-2,520 \cdot (t - 0,710)}}, & \text{para } t \leq 2,58 \text{ s} \\ -0,172 \cdot t + 2,352, & \text{para } t > 2,58 \text{ s} \end{cases} \quad (6.9)$$

sendo a : aceleração (m/s^2); e
 t : tempo (s).

No declive, a interseção das curvas que compõem o modelo ocorre após 2,09 s do final do tempo de percepção e reação de aceleração; no aclave a interseção ocorre após 2,58 s. A Figura 6.14 apresenta as curvas geradas pelos modelos encontrados para acelerações consideradas não agressivas ao partir da interseção.

Figura 6.14 - Modelos de aceleração determinados para a aceleração de veículos partindo da interseção, considerando os dados de motoristas não agressivos (menores acelerações máximas)

Para o comportamento médio dos motoristas classificados como intermediários no declive e no aclave, respectivamente, são apresentados nas equações:

$$\text{declive: } a = \begin{cases} \frac{2,559}{1 + e^{-2,680 \cdot (t - 0,450)}}, & \text{para } t \leq 1,96 \text{ s} \\ -0,341 \cdot t + 3,219, & \text{para } t > 1,96 \text{ s} \end{cases} \quad (6.10)$$

$$\text{aclive: } a = \begin{cases} \frac{2,279}{1 + e^{-2,650 \cdot (t - 0,660)}}, & \text{para } t \leq 2,31 \text{ s} \\ -0,222 \cdot t + 2,790, & \text{para } t > 2,31 \text{ s} \end{cases} \quad (6.11)$$

sendo a : aceleração (m/s^2); e
 t : tempo (s).

A interseção das curvas que compõem o modelo, no declive, ocorre após 1,96 s do início da pressão do pedal do acelerador; e, no aclave, após 2,31 s. A Figura 6.15 apresenta as curvas geradas pelos modelos encontrados para representar os motoristas com perfil de aceleração considerado intermediário ao partir da interseção.

Figura 6.15 - Modelos de aceleração determinados para a aceleração de veículos partindo da interseção, considerando os dados de motoristas intermediários (acelerações máximas intermediárias)

Por fim, para representar o comportamento médio dos motoristas classificados como agressivos – com as maiores acelerações máximas – no declive e no aclave, respectivamente, são apresentados nas equações:

$$\text{declive: } a = \begin{cases} \frac{3,007}{1 + e^{-2,800 \cdot (t - 0,400)}}, & \text{para } t \leq 1,81 \text{ s} \\ -0,370 \cdot t + 3,663, & \text{para } t > 1,81 \text{ s} \end{cases} \quad (6.12)$$

$$\text{aclive: } a = \begin{cases} \frac{2,697}{1 + e^{-2,980 \cdot (t - 0,570)}}, & \text{para } t \leq 1,96 \text{ s} \\ -0,276 \cdot t + 3,230, & \text{para } t > 1,96 \text{ s} \end{cases} \quad (6.13)$$

sendo a : aceleração (m/s^2); e
 t : tempo (s).

A interseção das curvas que compõem cada modelo ocorre após 1,81 s (declive) e 1,96 s (aclive) após o início da pressão do pedal do acelerador. A Figura 6.16 apresenta as curvas geradas pelos modelos de aceleração de motoristas considerados agressivos ao partir da interseção.

Figura 6.16 - Modelos de aceleração determinados para a aceleração de veículos partindo da interseção, considerando os dados de motoristas não agressivos (maiores acelerações máximas)

Cabe lembrar que esses modelos descrevem o comportamento médio dos motoristas avaliados para acelerar ao partir de uma interseção e devem ser aplicados após o tempo de percepção e reação de aceleração dos motoristas.

Motoristas pertencentes a um mesmo perfil de agressividade, independente da declividade, apresentaram valores próximos de porcentagem de uso da aceleração máxima disponível, conforme a Tabela 6.8. O grupo considerado não agressivo usou aproximadamente 47% da máxima aceleração disponível do veículo. Os motoristas com comportamento intermediário aceleraram com 55% da máxima aceleração disponível, muito próximo do observado para a análise com todos os motoristas em um único grupo. Motoristas considerados agressivos usaram nos testes 65% da aceleração máxima disponível.

Tabela 6.8 - Coeficientes k_1 e a porcentagem do uso da máxima aceleração (declive e aclave) para os motoristas avaliados nos três diferentes níveis de agressividade

DECLIVE			ACLIVE		
	k_1	% da $a_{m\acute{a}x}$		k_1	% da $a_{m\acute{a}x}$
$a_{m\acute{a}x}$ declive	4,690	100,0%	$a_{m\acute{a}x}$ aclave	4,070	100,0%
Não agressivo	2,201	46,9%	Não agressivo	1,909	46,9%
Intermediário	2,559	54,6%	Intermediário	2,279	56,0%
Agressivo	3,007	64,1%	Agressivo	2,697	66,3%
N	397		N	395	

Na Figura 6.17 e na Figura 6.18 são apresentadas as curvas para os modelos gerados em função da agressividade dos motoristas para o declive e para o aclave, respectivamente – para cada declividade também é apresentada a curva de comportamento médio obtida considerando todos os motoristas avaliados (geral). Os modelos que representam motoristas com comportamento intermediário e a média do modelo geral são similares, tanto no declive quanto no aclave.

Figura 6.17 - Modelos de aceleração determinados para a aceleração de veículos partindo da interseção no declive (três níveis de agressividade e modelo geral)

Figura 6.18 - Modelos de aceleração determinados para a aceleração de veículos partindo da interseção no aclive (três níveis de agressividade e modelo geral)

6.2. Considerações Finais

Este capítulo avaliou a existência de diferenças no comportamento de motoristas em função da idade, gênero e declividade e propôs modelos matemáticos que representam o processo de aceleração dos motoristas, em função do tempo, ao partir de uma interseção semaforizada.

Conforme esperado foi identificado um efeito significativo da rampa na aceleração usada na partida do cruzamento. A idade e o gênero não apresentaram diferenças estatisticamente significativas na aceleração. A diferença entre as taxas de desaceleração em função da declividade não é resultado que surpreenda, pois é evidente que a componente de peso do veículo interfere a favor (declive) e contra (aclive) o reinício do movimento do veículo.

Para a declividade existente (3%), o ganho médio de velocidade dos motoristas no aclive é similar ao ganho do 85º percentil no declive. A diferença observada entre as acelerações para o fator declividade, tanto para a média quanto para o 85º percentil, foi de $0,25 \text{ m/s}^2$, inferior aos $0,6 \text{ m/s}^2$ esperado da diferença de 6% na declividade (de -3% até 3%). Essa diferença pode ter sido atenuada por uma possível tendência de aumento de aceleração dos motoristas no aclive ou de redução da aceleração no declive.

O modelo matemático sugerido para representar a aceleração após o início do movimento do veículo é composto por duas etapas. A primeira etapa é representada por uma função sigmóide, e a segunda, por uma função linear. Ambas as equações apresentaram elevado grau de ajuste aos dados obtidos em campo das 792 curvas de *aceleração x tempo* modeladas. O instante de máxima aceleração foi obtido no ponto de interseção entre as equações do modelo.

Ao se usar o modelo proposto, a aceleração torna-se nula após certo incremento de tempo, pois a segunda equação do modelo é monotônica descendente. Para o declive, o modelo apresentado atinge aceleração nula após 9,9 s de aceleração (com velocidade de 53,4 km/h). No aclive, a aceleração se anula após 12,4 s (com velocidade de 58,6 km/h). Assim, para a aceleração do veículo partindo de uma interseção sugere-se o

uso do modelo apresentado até se adotar um modelo de *car-following*. O modelo de *car-following* deve passar a reger o comportamento do veículo quando seus valores de aceleração superarem as acelerações do modelo proposto nesta pesquisa. Estudos futuros devem indicar qual modelo de *car-following* usar e qual o melhor instante para sua adoção.

Em relação à porcentagem da máxima aceleração disponível no veículo usada pelos motoristas durante os testes, percebe-se que 70% deles (entre o 15º e o 85º percentil) aplicaram uma taxa de aceleração que varia entre 2,239 e 2,934 m/s² no declive e 1,958 e 2,650 m/s² no aclave. Em média, os motoristas usaram aproximadamente 55% da máxima aceleração disponível para partir da interseção após a indicação da fase verde.

A separação dos motoristas em três níveis de agressividade revelou, para o caso apresentado, uma diferença de aproximadamente dez pontos percentuais entre cada categoria avaliada. Os motoristas denominados não agressivos usaram 47% da máxima aceleração disponível para sua partida da interseção, enquanto os de comportamento intermediário usaram 55%; motoristas agressivos usaram 65% da máxima aceleração disponível. O uso da máxima aceleração dos motoristas intermediários foi semelhante à média dos motoristas avaliados em um único grupo.

Espera-se que o resultado da separação do comportamento em três grupos em função da agressividade amplie as discussões sobre a melhor maneira de representar motoristas em simuladores de tráfego. Os motoristas podem apresentar comportamentos distintos de agressividade em uma mesma corrente de tráfego. Nesta pesquisa a agressividade foi vinculada a sua máxima aceleração. O critério de classificação e ordenamen-

to das agressividades foi o valor do coeficiente “ k_1 ”, que se refere à máxima aceleração observada em cada curva gerada. Os modelos satisfizeram o objetivo proposto de representar os motoristas em função de sua agressividade.

Para todos os modelos de aceleração gerados no capítulo 6, a aplicação da função sigmóide é restrita a praticamente os dois primeiros segundos. A utilização desse tipo de função é uma alternativa para contornar o problema relatado por Wang *et al.* (2004) e Rakha *et al.* (2004) sobre a dificuldade em representar os primeiros dois segundos da aceleração.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A meta global desta pesquisa foi caracterizar o comportamento de motoristas em cruzamentos semaforizados, bem como propor modelos matemáticos que representem o comportamento observado na interseção. Para atingir esta meta, o estudo do comportamento dos motoristas foi dividido em três objetivos secundários, que avaliam: (1) a reação dos motoristas frente à mudança do verde para o amarelo; (2) o comportamento durante o processo de desaceleração no semáforo; e (3) o comportamento durante a aceleração, na partida do semáforo.

As conclusões e análises feitas ao final dos capítulos 4, 5 e 6 mostram que os objetivos secundários foram atingidos, portanto, a meta global foi atingida. A seguir são apresentadas as principais conclusões obtidas do estudo e são feitas recomendações para pesquisas futuras.

7.1. Conclusões

Os motoristas dirigiram por um cruzamento semaforizado numa pista de testes nos EUA, no ano de 2005. A amostra de 60 motoristas foi estratificada em função da idade e do gênero. Em relação à idade, motoristas com menos de 65 anos foram considerados “jovens” (28 motoristas com idade média de 40 anos) e os com mais de 65 anos, “idosos” (32 motoristas com idade média de 71 anos). Quanto ao gênero, a amostra dividia-se igualmente em homens e mulheres. Como o cruzamento situa-se numa rampa, observou-se igual número de passagens (mas não de paradas) no aclave e no declive.

7.1.1. Reação dos motoristas frente ao surgimento do amarelo

O estudo da reação dos motoristas frente à mudança do verde para o amarelo foi feito através de comparação estatística entre os grupos de cada fator, avaliado com rela-

ção: à quantidade de paradas; à posição final do veículo em relação à faixa de retenção; ao tempo de percepção e reação (TPR); e à existência de zonas de dilema ou zonas de opção.

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os fatores avaliados (idade, gênero e declividade) em função da quantidade de paradas. Para a posição final de parada, os resultados dos testes estatísticos identificaram um efeito da idade: motoristas do grupo jovem apresentaram maiores invasões da faixa de retenção.

Para o tempo de percepção e reação, foi identificado um efeito estatisticamente significativo para o fator declividade: o valor do tempo de percepção e reação foi maior no aclave do que no declive. Esta diferença pode ser justificada pelo fato de que os motoristas sabem que a componente de peso dos veículos atua a favor da frenagem no aclave e contra no declive. Foi também observado que o tempo de percepção e reação não podem ser representados por uma distribuição normal; uma distribuição unicaudal é mais adequada, pois o tempo de percepção e reação não pode ter valores negativos ou que tendam à zero.

Observou-se que a extensão da invasão do veículo no cruzamento é inversamente proporcional à distância de ativação do amarelo (DAA): quanto mais perto do cruzamento no instante da mudança de fase, mais o veículo ultrapassa a faixa de retenção em sua posição final. As observações feitas para distância de ativação da fase amarela de 55 m mostram que os motoristas tiveram que optar entre parar ou prosseguir, evidenciando a existência de zona de opção. O equilíbrio entre passagens e paradas observadas nesta distância de ativação da fase amarela também indica a existência de uma zona de opção.

7.1.2. Comportamento dos motoristas durante a desaceleração

No estudo do comportamento dos motoristas durante a desaceleração não foi identificado efeito estatisticamente significativo dos fatores avaliados sobre as taxas de desaceleração. A função polinomial quadrática apresentou ajuste satisfatório para o modelo de comportamento dos motoristas ao desacelerar em uma interseção semaforizada.

Uma análise feita foi o estudo da correlação entre os coeficientes do modelo polinomial e a distância em que houve o início da pressão do pedal do freio (DTI). Foi observada correlação entre a DTI e dois (α e β) dos três coeficientes da equação:

$$a = (-0,0207 \cdot DTI + 1,8262) \cdot t^2 + (0,0772 \cdot DTI - 7,4555) \cdot t - 1,0 \quad (5.2)$$

sendo a : aceleração (m/s^2);
 t : tempo (s); e
 DTI : distância até a interseção quando o pedal do freio é acionado (m).

Os coeficientes com correlação foram substituídos por funções lineares em função da distância do veículo para a faixa de retenção no instante em que há início da pressão do pedal do freio. O coeficiente α variou entre zero e dois, com maiores valores quanto mais próximos os veículos se encontravam da faixa de retenção; o coeficiente β variou entre zero e menos seis, porém, com valores mais próximos a zero quanto mais distante o veículo se encontrava da interseção.

Outra análise foi feita, porém com a classificação dos motoristas em três grupos em função da desaceleração máxima observada: agressivos, intermediários e não-agressivos. O terço com as maiores desacelerações foi atribuído aos motoristas agressivos. Percebe-se nas equações obtidas que quanto maior a agressividade dos motoristas, maior o valor do coeficiente que multiplica a variável DTI.

7.1.3. Comportamento dos motoristas durante a aceleração

A caracterização do comportamento dos motoristas durante a aceleração, quando o sinal muda de vermelho para verde foi feita em termos do tempo de percepção/reação e da aceleração aplicada. Identificou-se efeito estatisticamente significativo dos fatores gênero e declividade da via sobre o tempo de percepção e reação. Motoristas do gênero feminino apresentaram tempo de percepção e reação maior que motoristas do gênero masculino, enquanto que motoristas que partiram da interseção no aclave apresentaram um tempo de percepção e reação maior para iniciar o movimento do veículo.

Para representar a aceleração após o início do movimento, foi sugerido um modelo matemático com duas etapas: a primeira representada por uma função sigmóide e a segunda por uma função linear. Nos modelos de regressão, ambas as funções apresentaram elevado grau de ajuste aos dados coletados na pista de testes. O instante de máxima aceleração foi obtido no ponto de interseção entre as equações do modelo; o valor da máxima aceleração corresponde ao coeficiente “ k_1 ” da função sigmóide do modelo. Foi observado que na aceleração, após certo tempo, os valores da aceleração fornecidos pelo modelo passam a não mais representar o comportamento esperado, uma vez que o motorista passa a procurar manter a velocidade de percurso desejada. Num modelo de simulação, este deve ser o instante a partir do qual a aceleração do veículo deve ser determinada pela lógica de *car following* adotada.

Os motoristas também foram divididos em três níveis de agressividade em função da aceleração utilizada na partida do cruzamento. Identificou-se que os motoristas não agressivos usaram 47% da máxima aceleração disponível quando da partida da interseção; o grupo intermediário usou 55% enquanto que os agressivos usaram 65%. A

máxima aceleração do grupo intermediário foi semelhante à média dos motoristas avaliados em um só grupo.

A caracterização e classificação comportamental dos motoristas em campo (como a observação da agressividade) forneceu subsídio para se propor modelos matemáticos representativos desses comportamentos. Os modelos propostos de desaceleração e de aceleração neste trabalho revelaram-se adequados. Os modelos matemáticos propostos podem ser aplicados em simuladores de tráfego, nos quais se pretenda compor o tráfego com indivíduos de classes de comportamento distintas, para aprimorar a representação do tráfego em cruzamentos semaforizados.

7.2. Recomendações

Este trabalho apresentou resultados do estudo do comportamento dos motoristas em interseções semaforizadas. Os resultados encontrados atingiram completamente os objetivos propostos para a pesquisa e estimulam a possibilidade de novos estudos para caracterizar os motoristas em diferentes situações de tráfego, inclusive com a presença de outros veículos na via.

Os novos estudos devem compreender diferentes velocidades de aproximação, diferentes declividades e um número maior de motoristas (para permitir a separação dos dados da amostra em maior número de categorias em função dos fatores idade, gênero e declividade). Também se sugere aumentar a variabilidade nas distâncias de ativação da fase amarela (DAA) para estudo da correlação entre a distância de ativação da fase amarela e as invasões da faixa de retenção.

Com relação ao modelo matemático proposto, para sua validação, sugere-se que sejam feitos estudos de sua aplicação com diferentes grupos de motoristas. Recomenda-

se, também, estudo que proponha modelos de comportamento dos motoristas de diferentes categorias veiculares (como caminhões e ônibus) ao trafegar em diferentes combinações de velocidade e rampa.

A implementação dos modelos em simuladores de tráfego deve ser acompanhada de lógicas de *car following* para representar o comportamento final de desaceleração e de aceleração dos motoristas ao chegar e partir da interseção. O modelo de *car following* a ser usado e o instante em que esse modelo deve passar a reger o comportamento dos motoristas (após o instante em que os modelos propostos não representem mais o comportamento esperado dos motoristas) devem ser estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (2001). **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.
- ARAÚJO, J. J. (2007). **Estudo do Impacto de Veículos Pesados Sobre a Infra-Estrutura Rodoviária Através de Simulação Microscópica de Tráfego**. Tese (Doutorado). Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 154 p.
- BRACKSTONE, M. (2003). Driver Psychological Types and Car Following: Is There a Correlation? Results of a Pilot Study. **Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design**. p. 245-250
- BUTTON, J.; FERNANDO, E.; MIDDLETON, D. (2004). **Synthesis of Pavement Issues Related to High-Speed Corridors**. Technical Report 0-4756-1. Texas Department of Transportation, Texas Transportation Institute, Federal Highway Administration. College Station, TX, Texas.
- CAIRD, J. K.; CHISHOLM, S. L.; EDWARDS, C. J.; CREASER, J. I. (2005). The Effect of Amber Light Onset Time on Older and Younger Drivers TPR and Intersection Behavior. 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. **Proceedings...** Washington, D. C., USA.
- CAIRD, J. K.; CHISHOLM, S. L.; EDWARDS, C. J.; CREASER, J. I. (2007). The Effect of Yellow Light Onset Time on Older and Younger Drivers' Perception Response Time (PRT) and Intersection Behavior. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 10. p. 383-396.
- CHANG, M. S.; MESSER, C. J.; SANTIAGO (1985). Timing Traffic Signal Change Intervals Based on Driver Behavior. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, No. 1027, USA, p. 20-30.
- CUNHA, A. L. B. N. (2007). **Avaliação do impacto da medida de desempenho no equivalente veicular de caminhões**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 147 p.
- EASA, S. M. (1993). Reability-Based Design of Intergreen Interval at Traffic Signals. **Journal of Transportation Engineering**, v. 119, n. 2, p. 255 - 271.
- EL-SHAWARBY, I; RAKHA, H.; INMAN, V. W.; DAVIS, G. (2006). Effect of Yellow-Phase Trigger Distance on Driver Behavior at High-Speed Signalized Intersections. 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. **Proceedings...** Washington, D. C., USA.
- FHWA (2001). **Handbook for Older Drivers and Pedestrians**. U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. FHWA-RD-01-103. McLean, VA, USA. Disponível em: < <http://www.fhrc.gov/humanfac/01103/coverfront.htm> >. Acesso em 6/jul/2006.
- FHWA (2004). **Informational Guide Signalized Intersections**. U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. FHWA-HRT-04-091. McLean, VA, USA. 372 p.
- FHWA (2005). **Driver Attitudes and Behaviors at Intersections and Potential Effectiveness of Engineering Countermeasures**. U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. FHWA-HRT-05-078. McLean, VA, USA. 176 p.

- GAZIS, D; HERMAN, R.; MARADUDIN, A. (1960). The Problem of the Amber Signal Light in the Traffic Flow. **Operations Research**, v. 8. Baltimore, Maryland, USA. p. 112-132.
- GM PowerTrain (2006). **Chevrolet Impala**. Desenvolvido pela divisão de fabricação de câmbios e motores da Chevrolet. Disponível em: <http://media.gm.com/division/2005_proinfo/powertrain>. Acesso em 28/set/2006.
- KÖLL, H.; BADER, M.; AXHAUSEN, K. (2002). Driver behavior during flashing green before amber: A comparative study. **Accident Analysis and Prevention**, v. 36. p. 273-280.
- HAAS, R.; INMAN, V.; DIXSON, A.; WARREN, D. (2004). Use of Intelligent Transportation System Data to Determine Driver Deceleration and Acceleration Behavior. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, No. 1899, USA, p. 3-10.
- HARWOOD, D. (1996). Intersection Sight Distance. **NCHRP, Report 383**. Transportation Research Board. Washington D. C., USA.
- HICKS, T.; TAO, R.; TABACEK, E. (2005). Observations of Driver Behavior in Response to Yellow at Nine Intersections in Maryland. 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. **Proceedings...** Washington, D. C., USA.
- HUFF, T. S.; SCRIVNER, F. H. (1955). Simplified Climbing-Lane Design Theory and Road Tests Results. **HRB Bulletin 104**, p. 1-11. Highway Research Board, Washington, D.C.
- INMAN, V. W.; DAVIS, G.; EL-SHAWARBY, I.; RAKHA, H. (2006). Field and Driving Simulator Validations of System for Warning Potential Victims of Red-Light Violators. 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. **Proceedings...** Washington, D. C., USA.
- ITE (1992). **Traffic Engineering Handbook**. Institute of Transportation Engineers. 4^a edição. Editor: PLINE, J. Cap. 2 - Traffic and Vehicle Operating Characteristics. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, EUA.
- KAISE, I. A.; ABBANY, A. S. (2006). Modeling Aggressive Driver Behavior at Unsignalized Intersections. **Accident Analysis & Preventions**, v. 39. p. 671-678.
- KULKARNI, R. (2006). **Modeling Typical Driver Acceleration Behavior**. Dissertação (Mestrado). Virginia Polytechnic Institute. Blacksburg, Virginia, USA. 57 p.
- LEVINE, D. M.; STEPHAN, D.; KREHBIEL, T. C.; BERENSON, M. L. (2005). **Estatística – Teoria e Aplicações Usando o Microsoft® Excel em Português**. 3^a edição. Editora LTC, 819 p. Traduzido por: CURTOLO, E. B.; SOUZA, T. C. P.
- LIU, B. (2007). Association of Intersection Approach Speed with Driver Characteristics, Vehicle Type and Traffic Conditions Comparing Urban and Suburban Areas. **Accident Analysis & Preventions**, v. 39. p. 216-223.
- MAHALEL, D.; PRASHKER, J. N. (1987). A Behavioral Approach to Risk Estimation of Rear-End Collisions at Signalized Intersections. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, No. 1114, USA, p. 96-102.
- MCCOY, P.; PESTI, G. (2003). Dilemma Zone Protection on High-Speed Signalized Intersection Approaches: Advance Detection Versus Advance Warning Flashers and Advance Detection. 82nd

- Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. **Proceedings...** Washington, D. C., USA.
- MILAZZO, J.; HUMMER, J.; ROUPHAIL, N.; PROTHE, L.; MCCURRY, J. (2002). The Effect of Dilemma Zones on Red Light Running Enforcement Tolerances. 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. **Proceedings...** Washington, D. C., USA.
- MOON, Y.; LEE, J.; PARK, Y. (2002). System Integration and Field Tests for Developing In-vehicle Dilemma Zone Warning System. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1826**, USA, p. 53-59.
- MOUSA, M. (2003). Simulation Modeling and Variability Assessment of Delays at Traffic Signals. **Journal of Transportation Engineering**, v. **128**, n. 2, p. 177 - 185.
- PANT, P.; CHENG, Y. (2001). **Dilemma Zone Protection and Signal Coordination at Closely-Spaced High-Speed Intersections**. Technical Report OH-2001/12. Ohio Department of Transportation, Federal Highway Administration. University of Cincinnati, OH, Ohio.
- PANT, P.; CHENG, Y.; RAJAGOPAL, A.; KASHAYI, N. (2005). **Field Testing and Implementation of Dilemma Zone Protection and Signal Coordination at Closely-Spaced Highspeed Intersections**. Technical Report OH-2005/006. Ohio Department of Transportation, Federal Highway Administration. University of Cincinnati, OH, Ohio.
- PAPAIOANNOU, P. (2007). Driver Behaviour, Dillema Zone and Safety Effects at Urban Signalized Intersections in Greece. **Accident Analysis & Preventions**, v. **39**. p. 147-158.
- PARSONSON, P. S. (1978). Signalization of High Speed Isolated Intersections. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 681**, USA. P. 34-42.
- QUIROGA, C.; BULLOCK, D. (1999). Measuring Control Delay at Signalized Intersections. **Journal of Transportation Engineering**, v. **125**, n. 4, p. 271 - 280.
- RAKHA, H.; LUCIC, I.; DEMARCHI, S. H.; SETTI, J. R.; VAN AERDE, M. (2001). Vehicle Dynamics Model For Predicting Maximum Truck Acceleration Levels. **Journal of Transportation Engineering**, v. **127**, n. 5, p. 418 - 425.
- RAKHA, H.; LUCIC, I. (2002). Variable Power Vehicle Dynamics Model for Estimating Truck Accelerations. **Journal of Transportation Engineering**, **128**, p. 412 - 419.
- RAKHA, H.; SNARE, M.; DION, F. (2004). Vehicle Dynamics Model for Estimating Maximum Light-Duty Vehicle Acceleration Levels. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1883**, USA, p. 40-49.
- RAKHA, H.; EL-SHAWARBY, I.; SETTI, J. R. (2007). Characterizing Driver Behavior on Signalized Intersection Approaches at the Onset of a Yellow-Phase Trigger. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, vol. **8**, No. 4, December, USA, p. 630-640.
- RAKHA, H.; YU, B. (2005). Impact of Tire and Aerodynamic Aids on Truck Performance Along Upgrade Sections. 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. **Proceedings...** Washington, D. C., USA.

- ROESS, R.; McSHANE, W.; PRASSAS, E. (1998). **Traffic Engineering**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, EUA.
- SETTI, J. R.; RAKHA, H.; EL-SHAWARBY, I. (2006). Analysis of Brake Perception-Reaction Times on High-Speed Signalized Intersection Approaches. 9th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. **Proceedings...** Toronto, Canadá.
- SHEFFI, Y.; MAHMASSANI, H. (1981). Using Gap Sequences to Estimate Gap Acceptance Functions. **Transportation Research 15B**, p. 143-148.
- SHINAR, D.; COMPTON, R. (2004). Aggressive Driving: an Observational Study of Driver, Vehicle, and Situational Variables. **Accident Analysis & Preventions**, v. 36. p. 429-437.
- St. JOHN, A. D.; KOBETT, D. R. (1978). Grade Effects on Traffic Flow Stability and Capacity. **TRB - National Cooperative Highway Research Program Report, 185**. Washington, D. C., 110 p.
- SULTAN, B.; BRACKSTONE, M.; MCDONALD, M. (2004). Drivers' Use of Deceleration and Acceleration Information in Car-Following Process. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1883**, USA, p. 31-39.
- TARKO, A.; LI, W.; LARACUENTE, L. (2006). A Behavioral Approach to Risk Estimation of Rear-End Collisions at Signalized Intersections. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1973**, USA, p. 55-63.
- TRB (2000). **Highway Capacity Manual**, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., EUA.
- WANG, J.; DIXON, K.; LI, H.; OGLE, J. (2004). Normal Acceleration Behavior of Passenger Vehicles Starting from Rest at All-Way Stop-Controlled Intersections. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1883**, USA, p. 158-166.

ANEXOS

I – Local de Aquisição dos Dados (*Smart Road*)

A via utilizada para a aquisição dos dados foi a *Smart Road* do *Virginia Tech Transportation Institute* (VTTI), localizada no sudoeste do estado da Virginia, Estados Unidos. Atualmente é a única pista de teste em escala real que possibilita pesquisas de pavimentos e avaliações dos sistemas de transportes inteligentes. Com altitude média de 599 metros, possui 3,5 km de extensão, incluindo uma ponte com 600 m, e está projetada para que ao final de sua construção tenha 9,1 km, em quatro faixas e acesso limitado, conectando a Rodovia I-81 à cidade de Blacksburg. Nesses primeiros 3,5 km destinados à pesquisa e coleta de dados, é possível gerar diferentes cenários, incluindo diferentes velocidades dos veículos, níveis de aceleração, pressões de pneus, carregamento de eixos e condições ambientais, como chuva, neblina e gelo (Button *et al.*, 2004; El-Shawarby *et al.*, 2006; Setti *et al.*, 2006).

O veículo operado na via, que permite a coleta de dados é um Chevrolet Impala, ano 2004, como apresentado na Figura I.1, item (a). Assim como a via, o veículo é instrumentado com sistema de posicionamento global (GPS) e sensores para aquisição de dados em tempo real (El-Shawarby *et al.*, 2006).

(a)

(b)

Figura I.1 - Imagens (a) do veículo e (b) da interseção via - *Smart Road*

A interseção analisada, mostrada no item (b) da Figura I.1, possui declividade constante de 3%. Conforme o croqui apresentado na Figura I.2, os veículos têm distância suficiente para atingir a velocidade de equilíbrio (72 km/h) antes de chegarem à interseção.

Figura I.2 - Croqui do percurso de teste utilizado na *Smart Road*

II - Características do Veículo de Teste

Para determinação do desempenho do veículo, a partir dos modelos de desaceleração e aceleração estudados na revisão bibliográfica, foram obtidas as especificações técnicas do veículo modelo Impala, ano 2004, junto à divisão de fabricação de motores e câmbio da Chevrolet, denominada GM PowerTrain (2006), conforme Tabela II.1 e Tabela II.2.

Tabela II.1 - Peso e dimensões do veículo teste (GM PowerTrain, 2006)

Dimensões	
Peso	1.572 kg
Comprimento	5,08 m
Largura	1,85 m
Altura	1,45 m
Entre-eixos	2,81 m
Área Frontal	2,44 m ²

Tabela II.2 - Características dos pneus e do sistema de freio do veículo teste (GM PowerTrain, 2006)

Pneus e Freios	
Pneus	225/60 – R16
Dianteiros	Disco Ventilado, dois pistões (303 mm x 30 mm)
Traseiros	Disco Sólido, pistão único (278 mm x 11 mm)

As características técnicas do motor (Figura II.1) são apresentadas na Tabela II.3 e as características técnicas da transmissão do veículo são apresentadas na Tabela II.4. As curvas de desempenho são apresentadas na Figura II.2, na qual podem ser observado o torque máximo (305 N*m, ou 31,1 kgf*m) e a potência máxima (200 hp).

Tabela II.3 - Características do motor do veículo teste (GM PowerTrain, 2006)

Motor	
Modelo	GM PowerTrain, 3800 Series II V-6 (L36)
Potência Máxima	200 hp (149 kW) @ 5200 rpm
Torque Máximo	225 lb-ft (305 Nm) @ 4000 rpm

Tabela II.4 - Características da transmissão do veículo teste (GM PowerTrain, 2006)

Transmissão	
Tipo	automática, 4 velocidades, com <i>overdrive</i>
Modelo	4T65-E (M15)
Fator de Redução na Caixa de Câmbio:	1ª marcha: 2,92
	2ª marcha: 1,56
	3ª marcha: 1,00
	4ª marcha: 0,70
	Ré: 2,39
Fator de Redução no Diferencial:	2,86

Figura II.1 - Motor presente no Chevrolet Impala 2004 (modelo L36) (GM PowerTrain, 2006)

Chevrolet Impala (option)

Figura II.2 - Curvas de desempenho do motor utilizado no Chevrolet Impala 2004 (modelo L36) (GM PowerTrain, 2006)

III – Modelos polinomiais de desaceleração para cada motorista

Os modelos relacionam a desaceleração ao tempo decorrido após movimento superior a 5% do curso do pedal do freio e não consideram a idade, o gênero ou a declividade, pois, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas com relação a esses grupos. Para cada motorista foram determinados três coeficientes (α , β e φ) da equação:

$$a = \alpha \cdot t^2 + \beta \cdot t + \varphi \quad (5.1)$$

sendo a : aceleração (m/s²);
 t : tempo (s); e
 α , β e φ : coeficientes do modelo.

Na Tabela III.1 são apresentados os coeficientes obtidos para equações polinomiais de segundo grau que representam cada uma das desacelerações observadas em campo na distância de ativação da fase amarela de 55 m. A Tabela III.2 e a Tabela III.3 apresentam os coeficientes determinados para as distâncias de ativação da fase amarela de 66 e 88 m, respectivamente. As tabelas apresentam, da esquerda para a direita, colunas referentes ao: número identificador do motorista (de 1 a 60); idade do motorista (J = Jovem; I = Idoso); gênero do motorista (M = Masculino; F = Feminino); declividade que o motorista trafegava ao decidir parar na interseção (D = Declive; A = Aclive); desaceleração máxima observada em campo (m/s²); R² de ajuste do modelo obtido em comparação ao observado em campo; e os coeficientes α , β e φ do modelo.

Tabela III.1 - Coeficientes determinados para o modelo que representa as desacelerações observadas por cada motorista na DAA de 55 m

ID	I	G	D	$A_{\max}$	R^2	α	β	φ
1	J	M	D	-7,14	0,98	0,37	-3,62	0,59
2	J	F	A	-5,67	0,98	1,03	-4,21	-1,47
2	J	F	A	-5,92	1,00	0,91	-4,12	-1,36
2	J	F	D	-5,86	1,00	0,63	-3,53	-0,84
2	J	F	D	-5,55	0,99	0,69	-3,71	-0,67
3	J	F	A	-5,74	0,99	0,63	-3,42	-1,06
3	J	F	A	-5,79	0,99	0,59	-3,15	-1,41
3	J	F	D	-6,18	1,00	0,95	-4,61	-0,57
3	J	F	D	-6,27	1,00	1,11	-4,92	-0,75
4	J	F	A	-5,83	0,99	0,94	-4,54	-0,17
8	J	F	A	-7,07	0,98	1,42	-5,88	-0,83
8	J	F	A	-6,07	0,99	0,87	-4,16	-1,01
8	J	F	A	-6,41	0,99	0,77	-4,03	-0,93
11	J	F	A	-5,82	0,99	0,80	-3,90	-0,99
11	J	F	A	-5,64	0,99	0,96	-4,18	-1,21
11	J	F	A	-6,40	0,99	0,95	-4,57	-0,83
11	J	F	D	-7,10	0,99	1,12	-5,37	-0,48
12	J	M	A	-6,11	0,99	0,96	-4,40	-1,01
12	J	M	A	-6,09	0,99	0,94	-4,33	-1,02
12	J	M	A	-5,61	0,97	0,94	-3,90	-1,67
14	I	M	A	-6,18	0,72	0,94	-3,19	-2,95
14	I	M	A	-6,96	0,99	1,49	-6,14	-0,55
14	I	M	A	-5,30	0,95	0,88	-3,81	-1,37
14	I	M	D	-6,12	0,97	1,13	-4,71	-1,50
15	I	M	A	-6,58	0,99	1,40	-5,53	-1,31
15	I	M	A	-5,03	1,00	0,57	-3,00	-1,12
15	I	M	D	-6,43	0,99	1,12	-4,97	-1,05
16	J	F	D	-5,63	0,98	0,66	-3,36	-1,46
17	I	M	A	-6,18	0,97	1,19	-4,46	-2,14
17	I	M	D	-6,72	1,00	1,28	-5,34	-1,24
17	I	M	D	-6,48	1,00	1,24	-5,10	-1,35
18	I	M	A	-5,42	0,98	0,90	-3,66	-1,70
18	I	M	A	-5,72	0,99	1,03	-4,32	-1,22
18	I	M	A	-6,20	0,82	1,12	-3,84	-2,52
18	I	M	D	-6,76	0,99	1,20	-5,44	-0,36
19	J	F	A	-5,29	0,99	0,86	-3,90	-1,07
19	J	F	D	-4,60	0,99	0,55	-2,85	-0,93
20	J	M	A	-5,69	0,99	0,83	-3,86	-1,35
20	J	M	D	-5,85	0,93	1,06	-4,23	-1,67
20	J	M	D	-5,57	0,99	0,68	-3,71	-0,56
20	J	M	D	-5,22	0,72	0,71	-2,85	-2,11
21	I	M	A	-6,06	0,98	1,03	-4,38	-1,60
21	I	M	D	-6,20	0,99	0,71	-3,66	-1,39
21	I	M	D	-5,80	1,00	0,61	-3,37	-1,13
22	J	M	D	-6,13	0,99	0,99	-4,60	-0,75
22	J	M	D	-5,54	1,00	0,57	-3,42	-0,39
22	J	M	D	-4,61	0,99	0,48	-2,84	-0,44
22	J	M	D	-5,50	0,99	0,49	-3,28	-0,07
23	I	M	D	-5,57	0,96	0,97	-4,18	-1,15
25	I	M	A	-6,67	0,99	1,37	-5,53	-1,30
25	I	M	A	-5,66	0,96	0,97	-3,83	-1,98
25	I	M	A	-6,23	0,93	1,26	-4,40	-2,17
25	I	M	A	-5,66	0,90	1,03	-3,82	-1,98
26	J	M	A	-6,04	0,99	1,04	-4,54	-1,27
26	J	M	D	-6,65	0,99	1,27	-5,47	-0,70
26	J	M	D	-5,58	1,00	0,71	-3,59	-1,09
26	J	M	D	-5,84	0,97	1,09	-4,54	-1,23
28	I	F	A	-5,51	0,87	0,86	-3,27	-2,34
28	I	F	A	-5,65	1,00	0,87	-3,79	-1,59
28	I	F	A	-5,11	1,00	0,80	-3,43	-1,49
28	I	F	D	-5,73	0,92	1,02	-3,81	-2,16
29	J	M	D	-7,43	0,97	1,55	-6,86	0,54
32	J	M	A	-5,84	1,00	1,03	-4,43	-1,14
32	J	M	A	-5,71	0,98	0,97	-4,07	-1,47
33	I	F	A	-7,01	0,96	1,42	-6,06	-0,18
33	I	F	D	-7,84	0,98	2,07	-7,88	-0,20
33	I	F	D	-5,86	0,99	0,99	-4,62	-0,41
34	I	M	A	-5,67	0,96	1,08	-4,12	-1,87
34	I	M	D	-7,43	0,97	1,27	-5,80	-0,46
34	I	M	D	-6,40	0,89	1,20	-4,29	-2,24
35	J	F	A	-4,76	0,97	0,54	-2,79	-1,29

ID	I	G	D	$A_{\max}$	R^2	α	β	φ
35	J	F	D	-5,42	0,99	0,54	-3,04	-1,06
36	J	F	A	-7,23	0,99	1,58	-6,25	-1,06
36	J	F	A	-6,51	1,00	1,24	-5,18	-1,13
36	J	F	A	-6,11	0,98	1,09	-4,51	-1,53
37	I	F	A	-7,11	0,99	1,59	-6,34	-0,70
37	I	F	A	-6,73	0,99	1,53	-5,86	-1,00
37	I	F	A	-6,28	0,99	1,31	-5,29	-0,94
37	I	F	D	-7,23	0,99	1,13	-5,50	-0,25
38	I	M	A	-7,98	0,94	1,05	-5,36	-0,44
38	I	M	D	-7,17	0,98	1,56	-6,02	-1,40
40	I	F	A	-6,77	0,98	1,53	-5,88	-1,04
40	I	F	A	-6,15	0,99	1,37	-5,38	-0,78
40	I	F	A	-6,31	0,99	1,37	-5,47	-0,70
40	I	F	D	-6,36	1,00	0,84	-4,20	-1,01
41	I	M	D	-3,79	0,99	0,23	-1,54	-1,19
42	J	M	A	-5,82	1,00	0,84	-3,88	-1,37
42	J	M	A	-5,13	1,00	0,73	-3,50	-1,03
42	J	M	A	-5,77	1,00	0,92	-4,14	-1,18
43	I	F	A	-6,24	0,90	1,14	-4,43	-1,91
43	I	F	D	-5,20	0,98	0,87	-3,77	-1,31
43	I	F	D	-5,37	0,99	0,68	-3,29	-1,48
44	J	F	A	-6,64	0,98	1,35	-4,84	-2,41
44	J	F	A	-6,27	0,98	1,31	-4,60	-2,29
44	J	F	A	-5,97	0,83	1,12	-3,52	-2,84
44	J	F	D	-6,78	0,99	1,73	-5,94	-1,72
46	I	F	A	-6,89	0,99	1,40	-5,80	-0,73
46	I	F	D	-5,99	1,00	0,93	-4,39	-0,88
46	I	F	D	-6,46	1,00	0,82	-4,39	-0,55
46	I	F	D	-6,64	1,00	0,80	-4,51	-0,25
47	J	M	A	-7,70	0,95	0,78	-4,26	-1,13
47	J	M	A	-5,26	1,00	0,62	-3,21	-1,14
48	I	F	D	-5,48	0,89	1,10	-3,87	-1,93
48	I	F	D	-5,21	0,84	0,98	-3,36	-2,11
48	I	F	D	-5,28	0,78	1,07	-3,53	-1,92
48	I	F	D	-4,34	0,97	0,82	-3,42	-0,90
49	I	M	D	-7,41	0,97	1,22	-5,13	-2,27
49	I	M	D	-7,30	1,00	1,48	-5,99	-1,32
50	J	M	A	-5,67	1,00	0,72	-3,80	-0,62
50	J	M	A	-5,27	0,99	0,71	-3,47	-1,16
50	J	M	D	-6,82	1,00	0,97	-4,90	-0,51
50	J	M	D	-5,81	0,99	1,01	-4,59	-0,76
51	I	F	A	-4,31	0,61	0,50	-1,32	-2,84
51	I	F	D	-6,10	0,93	1,41	-4,75	-1,89
51	I	F	D	-6,07	0,93	1,53	-5,21	-1,33
51	I	F	D	-6,17	0,98	1,46	-5,76	-0,27
52	I	F	A	-6,95	0,99	1,20	-5,30	-0,93
52	I	F	A	-7,67	0,99	1,54	-6,46	-0,72
52	I	F	D	-6,57	1,00	0,70	-4,07	-0,60
53	I	F	A	-5,84	1,00	0,84	-3,97	-1,25
53	I	F	A	-5,29	0,99	0,47	-2,62	-1,54
53	I	F	D	-5,53	0,92	0,68	-3,18	-1,86
53	I	F	D	-5,62	0,99	0,65	-3,37	-1,30
54	I	M	A	-6,87	0,96	1,67	-5,78	-1,73
54	I	M	A	-5,84	0,93	1,25	-4,44	-1,78
54	I	M	A	-5,57	0,89	1,06	-3,78	-2,11
54	I	M	D	-4,93	0,88	0,85	-3,24	-1,81
55	J	F	A	-4,05	0,97	0,58	-2,58	-1,35
55	J	F	D	-3,56	0,93	0,57	-2,42	-1,06
56	I	F	A	-5,25	0,98	1,06	-4,18	-1,04
56	I	F	A	-5,27	0,91	0,98	-3,78	-1,52
56	I	F	A	-4,06	0,99	0,54	-2,63	-1,02
56	I	F	D	-6,34	0,99	1,20	-5,32	-0,40
58	J	F	A	-5,81	1,00	0,73	-3,59	-1,36
58	J	F	D	-5,56	1,00	0,88	-4,18	-0,71
58	J	F	D	-5,94	1,00	0,85	-4,03	-1,22
58	J	F	D	-5,76	0,99	0,60	-3,34	-1,04
60	I	F	A	-5,51	1,00	0,66	-3,37	-1,09
60	I	F	A	-4,99	0,99	0,65	-3,13	-1,29
60	I	F	A	-4,48	0,97	0,64	-2,86	-1,47
60	I	F	A	-4,39	0,94	0,58	-2,60	-1,65

Tabela III.2 - Coeficientes determinados para o modelo que representa as desacelerações observadas por cada motorista na DAA de 66 m

ID	I	G	D	$A_{\max}$	R^2	α	β	φ
1	J	M	A	-5,91	1,00	0,65	-3,74	-0,47
1	J	M	A	-5,66	0,99	0,68	-3,62	-0,95
2	J	F	D	-5,70	1,00	0,72	-3,93	-0,37
2	J	F	D	-5,48	0,99	0,38	-2,70	-0,51
2	J	F	D	-5,27	0,98	0,33	-2,35	-0,73
2	J	F	D	-4,65	0,98	0,71	-3,47	-0,55
3	J	F	D	-7,37	0,99	1,72	-6,56	-1,09
3	J	F	D	-4,87	1,00	0,59	-2,97	-1,13
3	J	F	D	-5,19	1,00	0,50	-2,93	-0,86
4	J	F	A	-4,97	1,00	0,61	-3,21	-0,74
4	J	F	A	-4,66	0,99	0,61	-3,01	-1,03
4	J	F	D	-5,04	1,00	0,51	-3,02	-0,60
5	J	M	D	-5,75	1,00	0,63	-3,58	-0,55
6	J	M	A	-5,25	0,91	1,01	-3,94	-1,21
6	J	M	D	-6,44	0,99	0,90	-4,56	-0,59
6	J	M	D	-5,68	1,00	0,54	-3,34	-0,41
6	J	M	D	-5,97	1,00	0,57	-3,57	-0,36
7	J	M	A	-5,13	0,98	0,80	-3,68	-1,07
7	J	M	A	-4,45	0,94	0,61	-2,81	-1,43
7	J	M	D	-6,30	0,99	0,71	-4,05	-0,42
7	J	M	D	-5,49	0,98	0,48	-2,98	-0,75
8	J	F	A	-5,12	1,00	0,65	-3,07	-1,54
8	J	F	D	-6,25	0,99	1,02	-4,49	-1,38
8	J	F	D	-5,34	1,00	0,52	-2,93	-1,19
9	J	M	A	-4,71	0,97	0,51	-2,68	-1,26
9	J	M	D	-4,71	0,93	0,57	-2,78	-1,50
9	J	M	D	-5,18	0,98	0,48	-2,80	-0,94
9	J	M	D	-5,02	0,98	0,51	-2,85	-1,04
10	J	M	A	-5,24	0,98	0,60	-3,17	-1,16
10	J	M	A	-4,70	0,76	0,61	-2,69	-1,57
11	J	F	A	-6,53	0,98	0,73	-3,98	-0,75
11	J	F	A	-4,99	0,98	0,67	-3,18	-1,39
11	J	F	D	-5,81	1,00	0,66	-3,73	-0,50
11	J	F	D	-6,22	1,00	0,65	-3,83	-0,56
12	J	M	A	-4,70	0,98	0,66	-3,00	-1,41
12	J	M	D	-5,47	1,00	0,80	-3,83	-1,01
12	J	M	D	-4,80	0,98	0,74	-3,38	-1,07
12	J	M	D	-4,65	0,94	0,58	-2,83	-1,32
13	J	M	A	-6,71	0,98	1,07	-4,88	-1,00
13	J	M	A	-4,67	0,98	0,61	-3,02	-1,11
14	I	M	A	-5,60	1,00	0,91	-4,24	-0,71
14	I	M	A	-5,32	1,00	0,80	-3,81	-0,77
14	I	M	A	-5,50	1,00	0,79	-3,93	-0,56
14	I	M	D	-4,95	0,97	0,70	-3,62	-0,52
15	I	M	A	-5,77	0,96	0,92	-3,83	-2,05
15	I	M	A	-4,87	0,95	0,67	-3,21	-1,27
15	I	M	A	-4,29	0,99	0,53	-2,76	-0,77
15	I	M	A	-4,50	0,99	0,62	-3,07	-0,78
16	J	F	D	-5,76	0,98	0,67	-3,49	-1,28
16	J	F	D	-5,52	0,99	0,58	-3,24	-1,01
16	J	F	D	-5,20	0,97	0,51	-2,82	-1,23
17	I	M	A	-4,85	0,91	0,77	-3,05	-1,79
17	I	M	A	-4,94	0,70	0,72	-2,48	-2,37
17	I	M	D	-6,01	0,95	0,98	-4,15	-1,77
17	I	M	D	-5,31	0,95	0,79	-3,68	-1,25
18	I	M	A	-4,53	0,99	0,35	-2,26	-0,87
18	I	M	D	-4,44	0,99	0,51	-2,76	-0,82
18	I	M	D	-4,83	0,55	0,62	-2,22	-2,24
18	I	M	D	-4,82	0,99	0,57	-3,26	0,02
19	J	F	A	-5,75	1,00	1,02	-4,54	-0,71
19	J	F	A	-4,83	1,00	0,47	-2,76	-0,78
19	J	F	A	-4,92	0,98	1,01	-3,99	-0,84
20	J	M	A	-5,13	1,00	0,66	-3,52	-0,45
20	J	M	A	-4,20	0,99	0,53	-2,68	-0,85
20	J	M	D	-4,48	0,98	0,59	-3,02	-0,81
20	J	M	D	-4,34	0,99	0,39	-2,61	0,14
21	I	M	A	-5,02	0,93	0,65	-3,13	-1,54
21	I	M	A	-4,97	0,99	0,62	-3,09	-1,20
21	I	M	A	-4,93	0,97	0,75	-3,35	-1,32
21	I	M	D	-5,85	0,95	1,02	-4,09	-1,77
22	J	M	A	-5,26	0,98	0,83	-3,62	-1,52
22	J	M	A	-5,23	1,00	0,54	-3,07	-0,83
22	J	M	A	-4,65	0,99	0,46	-2,64	-0,94
22	J	M	A	-4,77	1,00	0,51	-2,80	-0,99
23	I	M	A	-4,85	0,96	0,64	-3,12	-1,23
23	I	M	D	-4,24	0,98	0,65	-3,37	0,07
23	I	M	D	-3,60	0,98	0,49	-2,48	-0,39
24	J	F	D	-4,84	0,97	0,68	-3,33	-0,91
25	I	M	A	-6,15	0,96	1,30	-4,92	-1,30
25	I	M	A	-4,71	0,98	0,80	-3,45	-1,02
25	I	M	A	-4,49	0,96	0,69	-2,96	-1,33
25	I	M	D	-4,85	0,90	0,70	-2,87	-2,04
26	J	M	A	-6,05	0,99	1,05	-4,50	-1,39
26	J	M	D	-5,33	0,98	0,92	-4,05	-1,02
26	J	M	D	-4,99	1,00	0,53	-2,95	-0,87
26	J	M	D	-5,08	0,98	0,51	-2,84	-1,14
27	J	F	D	-4,23	0,98	0,37	-2,20	-0,86
28	I	F	A	-5,48	1,00	0,53	-3,09	-0,97
28	I	F	A	-4,76	0,97	0,54	-2,70	-1,34
28	I	F	A	-4,83	0,97	0,40	-2,28	-1,50
28	I	F	D	-4,19	0,37	0,16	-0,81	-2,48
29	J	M	A	-5,31	0,99	0,47	-2,80	-1,03
29	J	M	D	-5,47	1,00	0,75	-3,75	-0,83
31	I	F	D	-4,01	1,00	0,15	-1,44	-0,55
32	J	M	A	-4,83	0,89	0,65	-2,89	-1,66
32	J	M	A	-4,39	0,97	0,46	-2,41	-1,36
32	J	M	A	-4,39	0,95	0,58	-2,75	-1,29
32	J	M	D	-4,30	0,98	0,62	-2,89	-1,06
33	I	F	A	-4,20	0,92	0,37	-1,90	-1,75
33	I	F	A	-3,84	0,97	0,51	-2,53	-0,55
33	I	F	D	-4,25	1,00	0,15	-1,41	-1,14
34	I	M	A	-5,14	0,74	0,77	-2,90	-2,00
34	I	M	A	-5,69	0,99	0,55	-3,19	-1,11
34	I	M	A	-4,45	0,88	0,66	-2,91	-1,13
34	I	M	D	-6,09	0,87	1,20	-4,19	-1,96
35	J	F	A	-5,08	0,96	0,71	-3,23	-1,60
35	J	F	D	-5,30	0,99	0,75	-3,66	-1,01
35	J	F	D	-4,59	0,98	0,55	-3,10	-0,36
36	J	F	A	-6,36	0,88	1,07	-4,18	-2,11
36	J	F	A	-5,00	0,94	0,67	-3,13	-1,50
36	J	F	A	-5,29	0,96	0,84	-3,76	-1,11
36	J	F	D	-5,37	0,95	0,85	-3,62	-1,54
37	I	F	A	-5,50	0,93	1,04	-3,96	-1,53
37	I	F	A	-5,01	0,95	0,86	-3,61	-1,14
37	I	F	D	-6,83	0,98	1,18	-5,41	-0,40
37	I	F	D	-5,91	0,99	1,22	-5,12	-0,42
38	I	M	A	-4,65	0,91	0,62	-2,69	-1,82
38	I	M	A	-4,65	0,92	0,62	-2,78	-1,64
38	I	M	D	-5,10	0,94	0,74	-3,31	-1,51
38	I	M	D	-5,62	0,97	0,95	-4,11	-1,29
39	I	F	A	-3,83	0,96	0,40	-2,06	-1,32
39	I	F	D	-4,84	0,99	0,48	-2,76	-0,95
40	I	F	A	-5,80	0,98	0,96	-4,45	-0,45
40	I	F	A	-3,33	0,99	0,37	-2,05	-0,51
40	I	F	D	-6,01	1,00	0,63	-3,65	-0,58
40	I	F	D	-5,83	0,99	0,12	-2,03	0,10
41	I	M	D	-5,31	1,00	0,45	-2,87	-0,69
42	J	M	A	-4,84	0,89	0,64	-2,72	-1,99
42	J	M	A	-4,77	0,98	0,65	-3,14	-1,15
42	J	M	D	-4,55	0,98	0,62	-3,16	-0,72
43	I	F	A	-5,37	0,96	0,85	-3,80	-1,14
43	I	F	D	-5,57	0,85	1,02	-3,96	-1,39
43	I	F	D	-4,64	0,99	0,74	-3,47	-0,54
43	I	F	D	-5,23	0,97	0,79	-4,16	0,40
44	J	F	A	-7,02	0,70	1,08	-3,12	-3,41
44	J	F	A	-5,14	0,71	0,72	-2,72	-2,17
44	J	F	A	-4,81	0,96	0,46	-2,45	-1,72
44	J	F	D	-4,47	0,96	0,75	-3,18	-0,99
45	I	M	A	-6,09	0,97	1,16	-4,48	-1,68
45	I	M	A	-5,95	1,00	1,07	-4,44	-1,42
45	I	M	D	-4,71	0,92	0,61	-2,93	-1,40
46	I	F	A	-4,92	0,83	0,72	-2,82	-2,00

ID	I	G	D	$A_{\max}$	R^2	α	β	φ
46 I	F	D		-4,94	0,99	0,62	-3,27	-0,79
46 I	F	D		-4,88	0,98	0,82	-3,72	-0,66
46 I	F	D		-5,30	1,00	0,55	-3,30	-0,30
47 J	M	A		-5,51	0,89	0,91	-3,66	-1,68
47 J	M	A		-5,29	0,99	0,81	-3,88	-0,76
47 J	M	A		-4,43	0,99	0,24	-1,79	-0,90
47 J	M	D		-5,83	0,43	0,24	-0,26	-4,38
48 I	F	A		-3,72	0,91	0,56	-2,32	-1,28
48 I	F	A		-4,37	0,71	0,53	-1,94	-2,30
48 I	F	A		-4,07	0,95	0,65	-2,62	-1,43
48 I	F	A		-4,12	0,97	0,31	-1,76	-1,49
49 I	M	A		-5,62	0,90	0,99	-3,99	-1,45
49 I	M	D		-7,26	0,98	1,42	-5,78	-1,66
49 I	M	D		-6,79	0,97	1,21	-5,00	-1,60
49 I	M	D		-6,51	1,00	1,22	-5,33	-0,75
50 J	M	A		-4,18	0,95	0,52	-2,50	-1,30
50 J	M	A		-4,56	0,99	0,40	-2,33	-1,16
50 J	M	D		-5,46	1,00	0,36	-2,59	-0,82
51 I	F	A		-3,33	0,61	0,37	-1,33	-1,87
51 I	F	D		-4,96	0,75	0,81	-3,07	-1,63
51 I	F	D		-4,77	0,61	0,65	-2,52	-1,89
51 I	F	D		-4,89	0,99	1,00	-4,05	-0,85
52 I	F	A		-5,81	0,99	0,85	-4,04	-1,11
52 I	F	A		-7,23	0,97	1,15	-5,35	-0,73
52 I	F	D		-6,04	1,00	0,60	-3,58	-0,68
52 I	F	D		-5,98	1,00	0,61	-3,61	-0,66
53 I	F	A		-4,94	0,85	0,58	-2,59	-2,19
53 I	F	D		-6,04	0,99	0,92	-4,14	-1,60
53 I	F	D		-4,41	0,98	0,58	-3,10	-0,48
53 I	F	D		-4,85	0,99	0,66	-3,38	-0,58
54 I	M	A		-4,43	0,89	0,41	-2,06	-1,94
54 I	M	A		-4,52	0,94	0,59	-2,94	-1,11
54 I	M	D		-5,04	0,87	0,83	-3,16	-1,83
54 I	M	D		-4,57	0,93	0,73	-3,20	-1,06
55 J	F	A		-3,12	0,97	0,30	-1,44	-1,47
55 J	F	D		-3,25	0,99	0,29	-1,73	-0,68
55 J	F	D		-3,23	0,98	0,45	-2,27	-0,45
56 I	F	D		-4,54	0,99	0,56	-3,25	0,10
56 I	F	D		-4,64	0,99	0,50	-2,84	-0,74
56 I	F	D		-4,62	0,99	0,21	-1,73	-0,69
56 I	F	D		-3,76	0,98	0,54	-2,61	-0,59
57 J	F	A		-4,17	0,87	0,49	-2,21	-1,79
57 J	F	A		-4,29	0,95	0,55	-2,58	-1,38
57 J	F	A		-3,97	0,91	0,55	-2,41	-1,38
57 J	F	D		-4,18	0,94	0,53	-2,56	-1,21
58 J	F	A		-4,39	0,97	0,59	-2,74	-1,22
58 J	F	A		-4,43	0,97	0,46	-2,36	-1,55
58 J	F	A		-4,70	0,85	0,56	-2,57	-1,83
58 J	F	D		-4,95	0,99	0,40	-2,43	-1,28
59 J	F	D		-4,65	0,98	0,74	-3,42	-0,76
59 J	F	D		-4,10	0,98	0,49	-2,63	-0,66
60 I	F	A		-4,33	0,97	0,41	-2,27	-1,25
60 I	F	D		-4,10	0,91	0,57	-2,71	-0,90
60 I	F	D		-4,80	0,98	0,42	-2,47	-1,08
60 I	F	D		-4,63	0,97	0,67	-3,17	-1,05

Tabela III.3 - Coeficientes determinados para o modelo que representa as desacelerações observadas por cada motorista na DAA de 88 m

ID	I	G	D	$A_{\max}$	R^2	α	β	φ
1	J	M	A	-4,96	0,92	0,41	-2,36	-1,34
1	J	M	A	-4,83	0,95	0,11	-1,33	-0,65
1	J	M	D	-4,06	0,99	0,12	-1,29	-0,37
1	J	M	D	-3,38	0,97	0,14	-1,21	-0,62
2	J	F	A	-3,59	0,85	0,20	-1,38	-1,28
2	J	F	A	-3,81	1,00	0,24	-1,82	-0,41
2	J	F	D	-3,57	0,98	0,14	-1,31	-0,57
2	J	F	D	-4,20	0,99	0,08	-1,10	-0,46
3	J	F	A	-3,33	0,93	0,15	-1,06	-1,48
3	J	F	D	-4,15	0,96	0,31	-2,00	-0,89
3	J	F	D	-3,44	0,77	0,18	-1,17	-1,60
3	J	F	D	-3,87	0,96	0,25	-1,73	-0,73
4	J	F	A	-3,55	0,84	0,21	-1,33	-1,54
4	J	F	A	-3,45	0,96	0,20	-1,47	-0,95
4	J	F	D	-3,97	0,97	0,31	-1,88	-1,22
4	J	F	D	-3,94	0,96	0,22	-1,65	-0,89
5	J	M	A	-3,60	0,95	0,23	-1,57	-1,01
5	J	M	D	-3,98	0,95	0,31	-2,04	-0,67
5	J	M	D	-3,48	0,74	0,19	-1,30	-1,26
5	J	M	D	-3,64	0,98	0,23	-1,73	-0,43
6	J	M	A	-3,65	0,94	0,26	-1,70	-0,84
6	J	M	D	-4,72	0,90	0,41	-2,45	-0,87
6	J	M	D	-3,13	0,92	0,15	-1,19	-0,92
6	J	M	D	-3,89	0,98	0,14	-1,34	-0,73
7	J	M	A	-3,59	0,95	0,21	-1,54	-0,96
7	J	M	A	-3,48	0,89	0,16	-1,25	-1,24
7	J	M	D	-4,31	0,93	0,06	-0,92	-0,98
7	J	M	D	-3,62	0,97	0,13	-1,20	-0,86
8	J	F	A	-3,68	0,87	0,26	-1,31	-1,98
8	J	F	D	-3,37	0,86	0,17	-1,22	-1,32
8	J	F	D	-3,85	0,94	0,33	-1,81	-1,30
8	J	F	D	-3,46	0,56	0,14	-0,94	-1,76
9	J	M	A	-3,58	0,83	0,18	-1,27	-1,37
9	J	M	A	-3,56	0,90	0,13	-1,09	-1,26
9	J	M	D	-4,51	0,71	0,29	-1,61	-1,95
10	J	M	A	-3,65	0,63	0,19	-1,19	-1,49
10	J	M	D	-4,80	0,93	0,19	-1,61	-0,85
10	J	M	D	-3,72	0,39	0,17	-1,06	-1,57
10	J	M	D	-3,79	0,71	0,22	-1,50	-1,02
11	J	F	A	-3,71	0,96	0,14	-1,27	-0,86
11	J	F	D	-4,06	1,00	0,27	-2,03	-0,36
11	J	F	D	-3,89	0,98	0,23	-1,72	-0,74
11	J	F	D	-3,37	0,94	0,18	-1,43	-0,64
12	J	M	D	-3,96	0,96	0,25	-1,78	-0,95
12	J	M	D	-3,47	0,94	0,24	-1,56	-1,11
12	J	M	D	-3,49	0,93	0,21	-1,49	-0,98
12	J	M	D	-3,46	0,97	0,19	-1,47	-0,75
13	J	M	D	-4,20	0,99	0,31	-2,24	-0,39
13	J	M	D	-3,97	0,94	0,32	-2,05	-0,75
13	J	M	D	-3,73	0,88	0,28	-1,81	-0,68
13	J	M	D	-3,64	0,95	0,32	-1,80	-1,06
14	I	M	A	-3,50	0,86	0,23	-1,48	-1,10
14	I	M	A	-3,67	0,72	0,22	-1,09	-1,92
14	I	M	A	-3,34	0,91	0,22	-1,43	-1,00
14	I	M	D	-3,46	0,99	0,20	-1,49	-0,72
15	I	M	A	-3,53	0,93	0,20	-1,50	-0,88
15	I	M	A	-3,80	0,96	0,23	-1,77	-0,58
15	I	M	D	-4,00	0,90	0,32	-1,99	-0,81
15	I	M	D	-3,43	0,98	0,12	-1,24	-0,24
16	J	F	A	-3,50	0,72	0,13	-1,06	-1,21
16	J	F	A	-3,04	0,90	0,15	-1,06	-1,24
16	J	F	D	-4,59	0,99	0,40	-2,45	-0,86
16	J	F	D	-4,45	0,54	0,08	-0,77	-2,05
17	I	M	A	-3,40	0,66	0,16	-1,04	-1,67
17	I	M	A	-3,80	0,25	0,13	-0,61	-2,34
17	I	M	D	-3,85	0,91	0,28	-1,77	-1,15
17	I	M	D	-3,80	0,56	0,21	-1,20	-1,76
18	I	M	A	-3,36	0,88	0,25	-1,45	-1,10
18	I	M	A	-3,79	0,75	0,23	-1,38	-1,56
18	I	M	A	-4,00	0,57	0,15	-0,45	-2,88
18	I	M	D	-4,08	0,67	0,10	-0,13	-3,16
19	J	F	A	-4,19	0,95	0,33	-2,11	-0,66
19	J	F	A	-3,06	0,34	0,11	-0,62	-1,77
19	J	F	D	-3,54	0,94	0,22	-1,60	-0,86
19	J	F	D	-3,66	0,80	0,30	-1,64	-1,15
20	J	M	A	-4,08	0,98	0,31	-1,93	-1,07
20	J	M	A	-3,81	0,94	0,28	-1,72	-1,09
20	J	M	D	-3,64	0,90	0,26	-1,66	-1,10
21	I	M	A	-4,06	0,67	0,26	-1,50	-1,55
21	I	M	A	-3,36	0,97	0,48	-2,17	-1,00
21	I	M	D	-4,19	0,97	0,79	-3,22	-0,92
21	I	M	D	-4,08	0,93	0,79	-3,15	-0,80
22	J	M	A	-7,55	0,95	1,48	-6,45	-0,06
22	J	M	A	-3,99	0,97	0,27	-1,59	-1,11
22	J	M	A	-3,44	1,00	0,36	-1,95	-0,86
22	J	M	A	-3,83	0,99	0,23	-1,54	-0,89
23	I	M	A	-2,51	1,00	0,20	-1,16	-0,77
23	I	M	A	-2,76	0,97	0,27	-1,43	-0,85
23	I	M	D	-2,95	0,99	0,34	-1,78	-0,66
23	I	M	D	-2,67	0,99	0,37	-1,73	-0,63
24	J	F	A	-4,25	0,99	0,59	-2,76	-1,07
24	J	F	A	-4,17	0,99	0,72	-3,14	-0,61
24	J	F	A	-3,90	0,95	0,67	-2,70	-1,09
24	J	F	A	-3,30	0,99	0,44	-2,14	-0,78
25	I	M	A	-3,98	1,00	0,54	-2,59	-0,85
25	I	M	A	-3,72	1,00	0,50	-2,44	-0,74
25	I	M	D	-4,25	0,96	0,67	-2,98	-0,99
25	I	M	D	-3,91	0,99	0,65	-3,04	-0,41
26	J	M	A	-3,61	0,99	0,48	-2,30	-0,72
26	J	M	D	-3,48	0,94	0,39	-1,85	-1,03
26	J	M	D	-3,28	0,99	0,50	-2,36	-0,44
26	J	M	D	-3,45	0,99	0,23	-1,53	-0,84
27	J	F	A	-4,22	0,98	0,37	-1,81	-0,92
27	J	F	D	-3,88	0,99	0,27	-1,78	-0,57
27	J	F	D	-3,72	1,00	0,31	-2,04	-0,35
27	J	F	D	-3,66	0,99	0,34	-2,05	-0,55
28	I	F	A	-3,50	0,79	0,34	-1,49	-1,47
28	I	F	A	-2,86	0,90	0,29	-1,45	-1,13
28	I	F	D	-4,77	0,95	0,76	-3,46	-0,87
28	I	F	D	-3,17	0,98	0,49	-2,36	-0,46
29	J	M	A	-4,01	1,00	0,42	-2,37	-0,72
29	J	M	D	-4,31	0,99	0,37	-2,26	-0,50
29	J	M	D	-3,81	0,99	0,34	-2,11	-0,40
29	J	M	D	-3,77	1,00	0,43	-2,49	-0,21
31	I	F	A	-4,42	0,92	0,45	-2,23	-1,66
31	I	F	A	-3,61	0,99	0,37	-2,06	-0,78
31	I	F	A	-3,55	0,99	0,36	-1,84	-0,73
32	J	M	A	-3,76	1,00	0,35	-2,17	-0,40
32	J	M	D	-3,20	0,98	0,38	-2,04	-0,59
32	J	M	D	-3,30	0,99	0,36	-2,01	-0,51
33	I	F	A	-3,90	1,00	0,51	-2,56	-0,67
33	I	F	D	-3,55	1,00	0,25	-1,73	-0,56
33	I	F	D	-4,63	1,00	0,28	-2,27	-0,23
33	I	F	D	-4,22	0,99	0,45	-2,77	0,05
34	I	M	A	-3,74	1,00	0,58	-2,60	-0,71
34	I	M	D	-3,53	0,98	0,51	-2,41	-0,74
34	I	M	D	-4,13	0,97	0,73	-3,19	-0,59
34	I	M	D	-3,77	0,90	0,70	-2,75	-0,89
35	J	F	A	-3,33	0,99	0,26	-1,49	-0,94
35	J	F	A	-3,09	0,93	0,47	-2,04	-1,03
35	J	F	D	-3,24	1,00	0,29	-1,80	-0,40
35	J	F	D	-2,73	0,98	0,38	-1,76	-0,63
36	J	F	A	-3,72	0,99	0,39	-2,09	-0,98
36	J	F	A	-3,40	0,99	0,42	-2,02	-1,00
36	J	F	D	-3,77	0,97	0,42	-2,19	-0,87
36	J	F	D	-4,21	0,95	0,62	-2,83	-1,03
37	I	F	A	-3,94	1,00	0,60	-2,78	-0,72
37	I	F	A	-4,05	0,99	0,55	-2,73	-0,50
37	I	F	A	-3,20	0,98	0,51	-2,21	-0,85
37	I	F	D	-4,18	0,97	0,86	-3,57	-0,34
38	I	M	A	-3,77	0,90	0,40	-1,91	-1,22
38	I	M	A	-3,52	0,91	0,54	-2,17	-1,35

ID	I	G	D	$A_{\max}$	R^2	α	β	φ
38	I	M	D	-3,92	1,00	0,37	-2,32	-0,25
38	I	M	D	-4,14	1,00	0,32	-2,17	-0,45
39	I	F	A	-3,98	0,98	0,42	-2,19	-1,19
39	I	F	A	-4,61	1,00	0,77	-3,31	-0,98
39	I	F	A	-3,71	0,99	0,66	-2,66	-1,03
39	I	F	D	-4,74	1,00	0,33	-2,34	-0,36
40	I	F	A	-3,37	1,00	0,36	-1,91	-0,87
40	I	F	A	-3,48	1,00	0,44	-2,12	-0,95
40	I	F	D	-2,92	0,98	0,34	-2,02	0,23
40	I	F	D	-3,85	0,96	0,21	-1,67	0,31
41	I	M	D	-4,04	1,00	0,37	-2,22	-0,56
41	I	M	D	-4,13	1,00	0,28	-2,07	-0,32
42	J	M	A	-3,72	0,98	0,49	-2,35	-1,04
42	J	M	A	-3,41	0,98	0,48	-2,22	-0,96
42	J	M	D	-3,79	1,00	0,49	-2,61	-0,37
42	J	M	D	-3,14	0,97	0,33	-1,81	-0,67
43	I	F	A	-4,24	0,99	0,69	-3,18	-0,41
43	I	F	D	-4,98	0,93	0,42	-2,87	0,28
43	I	F	D	-4,11	0,86	0,30	-1,78	-0,97
43	I	F	D	-3,81	0,98	0,26	-1,90	-0,35
44	J	F	A	-3,39	0,95	0,29	-1,44	-1,59
44	J	F	A	-3,35	0,61	0,08	-0,66	-1,68
44	J	F	D	-3,35	0,78	0,14	-1,01	-1,55
44	J	F	D	-3,56	0,18	0,08	-0,37	-2,49
45	I	M	A	-4,00	0,95	0,31	-1,92	-1,17
45	I	M	A	-3,62	0,99	0,27	-1,73	-0,85
45	I	M	D	-3,76	0,73	0,22	-1,42	-1,56
45	I	M	D	-3,86	0,85	0,17	-1,33	-1,27
46	I	F	A	-3,49	0,99	0,15	-1,33	-0,58
46	I	F	D	-3,95	0,77	0,28	-1,74	-1,13
46	I	F	D	-3,54	0,98	0,22	-1,65	-0,52
46	I	F	D	-3,48	0,97	0,21	-1,64	-0,34
47	J	M	A	-3,46	0,96	0,22	-1,50	-1,01
47	J	M	A	-3,76	0,86	0,14	-1,21	-0,89
47	J	M	D	-2,97	0,88	0,21	-1,39	-0,86
47	J	M	D	-3,29	0,98	0,27	-1,94	0,11
48	I	F	A	-3,52	0,76	0,27	-1,15	-1,68
48	I	F	D	-2,93	0,85	0,15	-1,10	-0,85
48	I	F	D	-3,10	0,49	0,06	-0,56	-1,36
48	I	F	D	-2,60	0,64	0,12	-0,84	-1,07
49	I	M	A	-3,94	0,97	0,26	-1,67	-1,24
49	I	M	A	-3,92	0,35	0,16	-0,78	-2,43
49	I	M	D	-4,73	0,82	0,33	-2,11	-1,38
49	I	M	D	-4,30	0,76	0,34	-1,89	-1,54
50	J	M	A	-3,01	0,92	0,16	-1,12	-1,16
50	J	M	D	-3,71	0,97	0,29	-1,88	-0,75
50	J	M	D	-3,46	0,88	0,12	-0,98	-1,33
50	J	M	D	-3,77	0,95	0,11	-1,05	-0,77
51	I	F	A	-3,02	0,05	0,01	0,03	-2,33
51	I	F	A	-5,14	0,43	-0,11	1,18	-4,48
51	I	F	A	-2,69	0,68	-0,04	-0,06	-1,47
51	I	F	D	-3,13	0,69	0,15	-1,00	-1,46
52	I	F	A	-4,60	0,78	0,41	-2,09	-1,53
52	I	F	A	-4,11	0,97	0,35	-2,14	-0,89
52	I	F	D	-4,64	0,95	0,38	-2,42	-0,82
52	I	F	D	-4,32	0,98	0,27	-2,08	-0,46
53	I	F	A	-4,55	0,95	0,18	-1,53	-1,05
53	I	F	A	-4,92	0,98	0,10	-1,31	-0,78
53	I	F	A	-4,59	0,92	0,09	-1,13	-1,09
53	I	F	A	-3,78	0,60	0,21	-1,33	-1,43
54	I	M	A	-3,70	0,99	0,32	-1,97	-0,69
54	I	M	A	-3,60	0,96	0,19	-1,49	-0,75
54	I	M	A	-3,14	0,55	0,13	-0,64	-2,11
54	I	M	D	-3,20	0,88	0,17	-1,20	-1,24
55	J	F	A	-2,72	0,87	0,20	-1,14	-1,06
55	J	F	A	-2,56	0,95	0,15	-0,94	-1,09
55	J	F	D	-2,11	0,84	0,14	-0,89	-0,67
55	J	F	D	-2,91	0,65	0,19	-1,04	-1,21
56	I	F	A	-4,58	0,93	0,45	-2,73	-0,13
56	I	F	A	-3,50	1,00	0,23	-1,66	-0,56
56	I	F	A	-3,38	0,79	0,23	-1,50	-0,74

ID	I	G	D	$A_{\max}$	R^2	α	β	φ
57 J	F	A		-3,70	0,87	0,31	-1,68	-1,25
57 J	F	D		-3,34	0,93	0,20	-1,42	-1,02
57 J	F	D		-3,35	0,91	0,25	-1,50	-1,17
57 J	F	D		-2,93	0,90	0,20	-1,24	-0,98
58 J	F	A		-3,87	0,98	0,30	-1,80	-1,19
58 J	F	D		-4,36	0,96	0,14	-1,35	-0,96
58 J	F	D		-3,30	0,78	0,14	-1,04	-1,48
58 J	F	D		-3,01	0,58	0,13	-0,86	-1,51
59 J	F	A		-3,17	0,97	0,22	-1,46	-0,82
59 J	F	A		-3,20	0,68	0,11	-0,85	-1,36
59 J	F	D		-2,26	0,95	0,17	-1,20	-0,20
60 I	F	A		-3,30	0,60	0,12	-0,85	-1,59
60 I	F	A		-3,49	0,92	0,11	-0,97	-1,25
60 I	F	D		-4,19	0,97	0,29	-2,00	-0,91
60 I	F	D		-3,25	0,95	0,24	-1,51	-0,91

IV – Modelos de aceleração para cada motorista

Os modelos relacionam a aceleração ao tempo decorrido após movimento superior a 5% do curso do pedal do acelerador. Para cada motorista foram determinados três coeficientes (k_1 , k_2 e k_3) referentes para a equação sigmóide e dois coeficientes (V_1 e θ) para a equação linear. As funções usadas são apresentados na equação:

$$a = \begin{cases} \frac{k_1}{1 + e^{k_2 \cdot (t + k_3)}}, & \text{para } t \leq t_{\text{máxima aceleração}} \\ V_1 \cdot t + \theta, & \text{para } t > t_{\text{máxima aceleração}} \end{cases} \quad (6.1)$$

sendo a : aceleração (m/s²);
 t : tempo (s);
 $t_{\text{máxima aceleração}}$: tempo para atingir a máxima aceleração (s);
 k_1 , k_2 e k_3 : coeficientes do modelo – função sigmóide; e
 V_1 e θ : coeficientes do modelo – função linear.

Na Tabela IV.1 são apresentados os coeficientes obtidos para equações (sigmóide e linear) de cada uma das partidas da interseção no declive; a Tabela IV.2 apresenta os coeficientes para o aclave. Nas tabelas são apresentadas, da esquerda para a direita, colunas referentes ao: número identificador do motorista (de 1 a 60); idade do motorista (J = Jovem; I = Idoso); gênero do motorista (M = Masculino; F = Feminino); coeficientes k_1 , k_2 e k_3 da função sigmóide de cada passagem; e o valor de R^2 e coeficientes (V_1 e θ): da função linear de cada passagem.

Tabela IV.1 - Coeficientes determinados para os modelos que representam as acelerações observadas por cada motorista no DECLIVE

ID	I	G	Sigmóide			Reta		
			k_1	k_2	k_3	R^2	V_1	θ
1	J	M	3,70	-2,72	-0,45	1,00	-0,60	4,99
1	J	M	4,07	-2,93	-0,49	1,00	-0,57	5,09
1	J	M	4,09	-2,75	-0,38	1,00	-0,75	5,60
1	J	M	4,14	-2,90	-0,56	0,99	-0,45	4,75
1	J	M	4,20	-3,01	-0,49	0,99	-0,44	4,47
2	J	F	2,05	-2,24	-0,38	0,99	-0,24	2,65
2	J	F	2,08	-2,11	-0,45	0,98	-0,20	2,46
2	J	F	2,21	-2,13	-0,30	0,99	-0,36	3,23
2	J	F	2,28	-2,02	-0,57	0,97	-0,42	3,67
2	J	F	2,33	-2,06	-0,54	0,91	-0,07	2,32
2	J	F	2,36	-2,17	-0,50	0,98	-0,15	2,42
2	J	F	2,39	-2,16	-0,47	0,99	-0,31	3,02
2	J	F	2,40	-2,33	-0,48	0,98	-0,22	2,81
2	J	F	2,41	-2,21	-0,44	0,93	-0,31	3,05
2	J	F	2,50	-2,27	-0,51	0,98	-0,25	2,93
2	J	F	2,62	-2,17	-0,60	0,99	-0,26	3,12
3	J	F	2,20	-1,96	-0,42	0,99	-0,32	2,92
3	J	F	2,39	-2,26	-0,32	0,99	-0,34	3,13
3	J	F	2,44	-2,13	-0,53	0,99	-0,30	3,07
3	J	F	2,44	-2,09	-0,48	0,97	-0,34	3,08
3	J	F	2,46	-2,11	-0,46	0,97	-0,23	2,88
3	J	F	2,50	-2,32	-0,44	0,94	-0,36	3,13
3	J	F	2,62	-2,28	-0,42	0,99	-0,35	3,12
3	J	F	2,66	-2,37	-0,43	0,99	-0,35	3,38
3	J	F	2,68	-3,09	-0,28	0,99	-0,45	3,40
4	J	F	2,16	-2,45	-0,38	0,97	-0,41	3,39
4	J	F	2,19	-2,04	-0,38	0,98	-0,29	2,70
4	J	F	2,20	-2,74	-0,19	0,99	-0,35	3,00
4	J	F	2,23	-2,34	-0,34	0,99	-0,42	3,44
4	J	F	2,29	-2,16	-0,39	0,98	-0,28	2,95
5	J	M	2,46	-2,44	-0,50	0,94	-0,43	3,53
5	J	M	2,52	-2,16	-0,43	0,99	-0,40	3,43
5	J	M	2,58	-2,59	-0,47	0,98	-0,32	3,08
5	J	M	2,68	-2,26	-0,51	1,00	-0,41	3,54
6	J	M	2,40	-2,14	-0,75	0,98	-0,33	3,14
6	J	M	2,41	-2,49	-0,46	0,98	-0,40	3,40
6	J	M	2,47	-3,04	-0,28	0,97	-0,32	3,20
6	J	M	2,47	-1,73	-0,76	0,99	-0,31	3,12
6	J	M	2,50	-2,35	-0,57	0,99	-0,13	2,77
6	J	M	2,55	-1,91	-0,71	0,99	-0,34	3,41
6	J	M	2,57	-3,01	-0,27	1,00	-0,43	3,48
6	J	M	2,60	-2,53	-0,45	0,98	-0,36	3,67
6	J	M	2,68	-3,08	-0,35	1,00	-0,55	4,03
7	J	M	2,12	-2,44	-0,38	0,99	-0,43	3,37
7	J	M	2,29	-2,01	-0,44	0,97	-0,31	3,34
7	J	M	2,32	-2,47	-0,40	1,00	-0,32	2,97
7	J	M	2,63	-2,73	-0,28	0,99	-0,44	3,48
7	J	M	2,67	-2,73	-0,36	0,99	-0,43	3,57
7	J	M	2,78	-2,29	-0,44	0,98	-0,33	3,79
7	J	M	2,81	-2,63	-0,39	0,98	-0,34	3,34
8	J	F	2,63	-2,68	-0,18	0,99	-0,45	3,73
8	J	F	2,64	-3,11	-0,34	1,00	-0,48	3,67
8	J	F	2,66	-2,88	-0,38	0,98	-0,31	3,39
8	J	F	2,67	-2,79	-0,38	1,00	-0,57	4,33
8	J	F	2,69	-3,13	-0,32	1,00	-0,43	3,50
8	J	F	2,88	-2,33	-0,55	0,99	-0,38	3,69
9	J	M	2,42	-2,32	-0,47	0,95	-0,14	2,92
9	J	M	2,43	-2,80	-0,51	0,90	-0,17	2,71
9	J	M	2,51	-3,32	-0,32	0,99	-0,20	2,29
9	J	M	2,53	-3,04	-0,23	0,98	-0,34	3,28
9	J	M	2,82	-2,42	-0,45	0,88	-0,22	3,23
10	J	M	2,51	-2,64	-0,33	0,97	-0,51	3,76
10	J	M	2,57	-2,91	-0,36	0,92	-0,35	2,99
10	J	M	2,57	-2,78	-0,21	0,99	-0,53	3,95
10	J	M	2,57	-2,86	-0,31	0,99	-0,39	3,08
10	J	M	2,57	-2,69	-0,27	1,00	-0,49	3,64
11	J	F	2,08	-2,82	-0,15	0,89	-0,26	2,47
11	J	F	2,28	-2,88	-0,22	0,99	-0,22	2,35
11	J	F	2,28	-2,56	-0,23	0,99	-0,36	3,15
11	J	F	2,29	-2,44	-0,28	0,97	-0,44	3,51
11	J	F	2,32	-2,53	-1,27	0,92	-0,19	2,76
11	J	F	2,33	-2,98	-0,31	0,98	-0,34	2,74
11	J	F	2,35	-2,29	-0,22	0,98	-0,30	2,73
11	J	F	2,48	-2,70	-0,16	1,00	-0,40	3,24
12	J	M	2,05	-2,35	-0,30	0,99	-0,31	3,26
12	J	M	2,27	-2,84	-0,37	1,00	-0,42	3,19
12	J	M	2,29	-2,71	-0,24	1,00	-0,30	2,68
12	J	M	2,33	-2,27	-0,40	1,00	-0,38	3,02
12	J	M	2,42	-2,57	-0,24	0,98	-0,29	2,94
12	J	M	2,52	-2,85	-0,41	0,99	-0,40	3,25
12	J	M	2,67	-2,98	-0,33	1,00	-0,37	3,14
13	J	M	2,22	-2,18	-0,40	0,99	-0,35	3,24
13	J	M	2,51	-2,54	-0,47	1,00	-0,47	3,94
13	J	M	2,56	-2,57	-0,53	0,98	-0,41	3,53
13	J	M	2,66	-2,55	-0,60	0,99	-0,35	3,44
13	J	M	2,76	-2,55	-0,51	1,00	-0,51	4,07
13	J	M	2,77	-2,59	-0,57	1,00	-0,46	3,91
14	I	M	2,52	-3,03	-0,65	0,97	-0,18	3,06
14	I	M	2,61	-2,88	-0,52	0,96	-0,27	3,11
14	I	M	2,67	-2,96	-0,69	0,97	-0,28	3,34
14	I	M	2,75	-2,72	-0,61	0,97	-0,20	3,23
14	I	M	2,76	-2,53	-0,39	0,93	-0,30	3,32
14	I	M	2,91	-2,96	-0,61	0,93	-0,23	3,27
14	I	M	2,98	-2,97	-0,56	1,00	-0,47	4,25
15	I	M	2,58	-2,19	-0,68	0,81	-0,07	2,65
15	I	M	2,75	-2,14	-0,38	0,98	-0,42	3,85
15	I	M	2,80	-2,59	-0,24	0,98	-0,41	3,98
15	I	M	2,90	-2,23	-0,43	0,99	-0,30	3,58
15	I	M	2,91	-2,80	-0,27	0,98	-0,51	4,46
15	I	M	2,93	-2,13	-0,69	0,97	-0,22	3,08
15	I	M	2,95	-2,54	-0,54	0,98	-0,11	3,01
16	J	F	3,00	-2,76	-0,29	0,96	-0,18	3,21
16	J	F	3,08	-2,93	-0,28	0,96	-0,24	3,42
16	J	F	3,09	-2,78	-0,30	0,97	-0,30	3,68
16	J	F	3,18	-2,97	-0,37	0,99	-0,42	4,12
16	J	F	3,21	-2,96	-0,44	0,99	-0,39	3,80
16	J	F	3,24	-2,74	-0,28	0,95	-0,22	3,45
16	J	F	3,24	-2,68	-0,32	1,00	-0,51	4,25
16	J	F	3,32	-3,10	-0,28	0,99	-0,37	3,98
17	I	M	2,24	-2,48	-0,39	0,98	-0,29	2,88
17	I	M	2,37	-2,19	-0,52	0,92	-0,25	2,66
17	I	M	2,44	-2,09	-0,63	1,00	-0,42	3,35
17	I	M	2,46	-2,32	-0,49	0,99	-0,37	3,17
17	I	M	2,49	-2,47	-0,39	0,84	-0,19	2,45
17	I	M	2,56	-2,11	-0,69	0,97	-0,37	3,23
17	I	M	2,57	-2,28	-0,49	1,00	-0,44	3,42
17	I	M	2,58	-2,04	-0,50	0,99	-0,37	3,16
18	I	M	1,68	-2,47	-0,24	0,97	-0,22	2,36
18	I	M	1,77	-1,86	-0,42	0,98	-0,14	2,03
18	I	M	1,82	-2,19	-0,34	0,99	-0,26	2,56
18	I	M	1,93	-2,47	-0,28	0,97	-0,14	2,23
18	I	M	1,96	-2,79	-0,27	0,55	-0,18	2,44
18	I	M	2,19	-2,92	-0,30	0,99	-0,36	3,01
18	I	M	2,39	-3,12	-0,22	1,00	-0,17	2,13
19	J	F	1,99	-2,98	-0,25	0,99	-0,31	2,54
19	J	F	2,27	-2,57	-0,38	0,95	-0,30	2,78
19	J	F	2,30	-2,57	-0,39	0,99	-0,30	2,94
19	J	F	2,32	-3,00	-0,23	0,98	-0,35	3,00
19	J	F	2,43	-2,69	-0,34	0,99	-0,40	3,21
20	J	M	2,10	-2,06	-1,88	0,97	-0,12	2,56
20	J	M	2,18	-2,08	-0,64	0,99	-0,25	2,81
20	J	M	2,25	-2,61	-1,22	0,97	-0,06	2,31
20	J	M	2,38	-2,43	-0,23	1,00	-0,34	3,01
20	J	M	2,40	-2,11	-0,26	1,00	-0,41	3,38
20	J	M	2,43	-2,16	-0,45	0,97	-0,29	3,09
20	J	M	2,44	-2,13	-1,51	1,00	-0,31	3,45
20	J	M	2,47	-2,49	-0,36	0,97	-0,27	2,92
21	I	M	2,14	-2,74	-0,20	0,97	-0,16	2,19
21	I	M	2,55	-2,17	-0,58	0,96	-0,31	3,13
21	I	M	2,56	-2,73	-0,33	1,00	-0,35	3,24

ID	I	G	Sigmóide			Reta		
			k_1	k_2	k_3	R^2	V_1	θ
21	I	M	2,63	-2,63	-0,39	0,99	-0,35	3,31
21	I	M	2,70	-2,59	-0,54	0,98	-0,32	3,30
21	I	M	2,80	-2,81	-0,33	0,99	-0,29	3,16
21	I	M	2,83	-2,93	-0,24	0,98	-0,38	3,61
22	J	M	2,20	-2,51	-0,39	0,99	-0,22	2,69
22	J	M	2,23	-2,36	-0,38	0,98	-0,16	2,46
22	J	M	2,29	-2,45	-0,45	1,00	-0,40	3,16
22	J	M	2,32	-2,01	-0,56	0,92	-0,13	2,60
22	J	M	2,49	-2,17	-0,59	1,00	-0,30	3,13
22	J	M	2,56	-2,21	-0,61	0,98	-0,37	3,29
22	J	M	2,64	-2,28	-0,56	1,00	-0,44	3,61
23	I	M	1,73	-2,51	-0,32	0,82	-0,08	2,04
23	I	M	1,87	-2,33	-0,38	0,98	-0,28	2,58
23	I	M	2,02	-3,02	-0,32	0,97	-0,26	2,80
23	I	M	2,02	-2,35	-0,52	0,96	-0,31	2,87
23	I	M	2,03	-1,61	-0,77	1,00	-0,19	2,48
23	I	M	2,15	-2,28	-0,48	0,81	-0,09	2,16
23	I	M	2,32	-1,92	-0,70	0,97	-0,11	2,39
24	J	F	2,82	-2,59	-0,41	0,99	-0,20	3,30
24	J	F	2,83	-2,37	-0,54	0,97	-0,31	3,45
24	J	F	2,86	-2,70	-0,43	0,95	-0,21	3,17
25	I	M	2,58	-2,36	-0,47	0,99	-0,37	3,15
25	I	M	2,86	-2,55	-0,33	0,99	-0,50	4,05
25	I	M	2,88	-2,59	-0,28	0,98	-0,37	3,92
25	I	M	2,89	-2,28	-0,45	0,99	-0,57	4,40
26	J	M	2,13	-2,48	-0,39	0,95	-0,23	2,67
26	J	M	2,27	-2,28	-0,46	0,99	-0,32	3,12
26	J	M	2,39	-2,25	-0,52	0,99	-0,38	3,37
26	J	M	2,40	-2,30	-0,61	0,99	-0,20	2,67
26	J	M	2,44	-1,97	-0,70	1,00	-0,48	3,90
26	J	M	2,45	-2,41	-0,55	0,99	-0,24	2,96
26	J	M	2,52	-2,37	-0,42	0,94	-0,30	3,04
26	J	M	2,52	-2,60	-0,48	0,90	-0,25	2,82
26	J	M	2,54	-2,30	-0,42	0,98	-0,31	3,25
27	J	F	2,31	-2,35	-0,52	0,99	-0,32	3,07
27	J	F	2,33	-2,43	-0,37	0,99	-0,30	2,92
27	J	F	2,41	-2,53	-0,35	0,99	-0,34	3,19
27	J	F	2,46	-2,44	-0,46	0,97	-0,30	3,23
27	J	F	2,55	-2,18	-0,56	0,99	-0,36	3,22
28	I	F	2,01	-2,06	-0,45	0,99	-0,37	3,09
28	I	F	2,25	-2,45	-0,41	1,00	-0,40	3,10
28	I	F	2,30	-2,26	-0,37	0,98	-0,29	2,78
28	I	F	2,51	-2,30	-0,93	0,99	-0,31	3,06
28	I	F	2,53	-2,75	-0,42	1,00	-0,43	3,50
28	I	F	2,79	-2,28	-0,53	0,96	-0,32	3,27
29	J	M	2,19	-2,60	-0,31	0,99	-0,35	3,13
29	J	M	2,24	-1,85	-0,52	0,98	-0,28	2,91
29	J	M	2,30	-2,07	-0,57	0,99	-0,32	2,89
29	J	M	2,30	-1,74	-0,49	0,98	-0,37	3,22
29	J	M	2,41	-2,22	-0,63	0,93	-0,28	2,86
29	J	M	2,44	-2,34	-0,36	0,98	-0,35	3,10
29	J	M	2,51	-1,87	-0,45	0,97	-0,32	3,19
30	I	M	2,33	-2,31	-0,38	0,99	-0,36	3,28
30	I	M	2,38	-1,86	-0,62	1,00	-0,37	3,15
31	I	F	2,67	-2,64	-0,45	0,99	-0,44	3,75
31	I	F	2,75	-2,85	-0,38	1,00	-0,56	4,23
31	I	F	2,89	-2,94	-0,39	0,99	-0,50	4,06
31	I	F	2,89	-2,81	-0,40	0,97	-0,37	3,44
32	J	M	2,51	-2,72	-0,45	0,99	-0,45	3,48
32	J	M	2,54	-1,97	-0,80	0,97	-0,32	3,32
32	J	M	2,60	-2,50	-0,78	0,99	-0,45	3,81
32	J	M	2,61	-2,38	-0,56	0,99	-0,38	3,52
32	J	M	2,63	-1,90	-0,91	0,98	-0,31	3,43
33	I	F	2,71	-2,63	-0,33	1,00	-0,34	3,12
33	I	F	2,72	-2,80	-0,18	1,00	-0,44	3,52
33	I	F	2,78	-2,73	-0,25	0,96	-0,36	3,58
33	I	F	2,83	-2,86	-0,39	0,98	-0,32	3,15
33	I	F	2,89	-2,72	-0,29	0,93	-0,24	3,07
33	I	F	2,91	-2,56	-0,18	0,96	-0,36	3,26
33	I	F	2,97	-3,08	-0,35	1,00	-0,18	2,82

ID	I	G	Sigmóide			Reta		
			k_1	k_2	k_3	R^2	V_1	θ
33	I	F	3,37	-3,11	-0,32	0,99	-0,62	4,70
34	I	M	2,80	-2,74	-0,29	0,99	-0,42	3,80
34	I	M	2,84	-2,34	-0,47	1,00	-0,11	2,95
34	I	M	2,88	-2,54	-0,49	0,98	-0,47	4,35
34	I	M	2,89	-3,07	-0,33	1,00	-0,39	3,49
34	I	M	2,96	-2,62	-0,26	0,99	-0,37	3,71
34	I	M	2,99	-2,49	-0,31	0,99	-0,48	4,14
34	I	M	3,01	-2,73	-0,25	0,97	-0,34	3,74
35	J	F	2,36	-3,10	-0,27	0,98	-0,28	2,80
35	J	F	2,50	-2,97	-0,40	0,99	-0,31	2,96
35	J	F	2,52	-3,03	-0,31	1,00	-0,47	3,82
35	J	F	2,52	-3,22	-0,23	0,99	-0,40	3,57
35	J	F	2,57	-2,88	-0,25	0,96	-0,33	3,00
35	J	F	2,58	-2,53	-0,40	0,99	-0,36	3,21
35	J	F	2,66	-3,27	-0,32	1,00	-0,51	3,56
36	J	F	2,83	-2,70	-0,50	0,98	-0,41	3,31
36	J	F	2,87	-2,94	-0,35	0,94	-0,28	2,77
36	J	F	2,92	-3,04	-0,33	0,99	-0,50	3,98
36	J	F	2,94	-2,81	-0,44	1,00	-0,49	3,86
36	J	F	3,03	-2,99	-0,34	0,99	-0,50	3,64
37	I	F	2,09	-2,57	-0,34	0,99	-0,39	3,07
37	I	F	2,09	-2,57	-0,34	0,99	-0,41	3,12
37	I	F	2,28	-2,43	-0,40	1,00	-0,42	3,40
37	I	F	2,38	-2,34	-0,55	1,00	-0,25	2,90
37	I	F	2,50	-2,95	-0,26	0,96	-0,34	2,83
37	I	F	2,59	-2,63	-0,44	0,97	-0,36	3,14
37	I	F	2,59	-2,52	-0,42	0,98	-0,42	3,45
38	I	M	2,60	-2,92	-0,35	0,99	-0,35	3,13
38	I	M	2,72	-1,84	-0,34	1,00	-0,41	3,39
38	I	M	2,82	-2,52	-0,27	1,00	-0,44	3,52
38	I	M	2,82	-3,20	-0,30	1,00	-0,45	3,63
38	I	M	2,89	-2,47	-0,61	1,00	-0,46	3,84
39	I	F	2,28	-2,26	-0,49	1,00	-0,37	3,14
39	I	F	2,31	-2,53	-0,47	0,91	-0,22	2,85
39	I	F	2,33	-2,23	-0,50	0,99	-0,37	3,29
39	I	F	2,34	-2,41	-0,43	0,98	-0,32	2,98
39	I	F	2,38	-2,95	-0,30	0,99	-0,25	2,78
40	I	F	2,32	-2,71	-0,37	0,98	-0,34	3,29
40	I	F	2,67	-2,80	-0,32	0,99	-0,41	3,54
40	I	F	2,70	-3,18	-0,22	0,97	-0,31	2,90
40	I	F	2,79	-2,89	-0,30	1,00	-0,43	3,75
40	I	F	2,82	-2,80	-0,37	0,99	-0,39	3,59
40	I	F	2,84	-2,70	-0,35	1,00	-0,45	4,00
40	I	F	2,85	-2,62	-0,31	0,99	-0,40	3,67
40	I	F	3,07	-2,82	-0,37	0,97	-0,48	4,02
41	I	M	2,45	-2,46	-0,44	0,98	-0,32	3,46
41	I	M	2,63	-2,21	-0,56	0,01	0,00	2,16
41	I	M	2,67	-2,69	-0,34	1,00	-0,34	3,44
41	I	M	2,83	-2,39	-0,44	0,98	-0,35	3,82
41	I	M	3,05	-2,76	-0,33	0,78	-0,24	3,40
42	J	M	1,76	-2,19	-0,36	0,99	-0,33	2,55
42	J	M	1,98	-2,16	-0,43	1,00	-0,32	2,69
42	J	M	1,98	-1,81	-0,55	0,99	-0,39	3,09
42	J	M	2,16	-1,99	-0,51	1,00	-0,40	3,27
42	J	M	2,22	-2,33	-0,44	0,98	-0,28	2,69
43	I	F	2,51	-2,16	-0,55	0,98	-0,32	3,21
43	I	F	2,58	-2,88	-0,27	1,00	-0,43	3,72
43	I	F	2,65	-2,48	-0,51	0,98	-0,21	3,05
43	I	F	2,66	-2,60	-0,50	0,99	-0,43	3,74
43	I	F	2,69	-2,62	-0,52	0,99	-0,43	3,64
43	I	F	2,72	-2,51	-0,49	0,99	-0,42	3,68
43	I	F	2,76	-2,41	-0,54	0,99	-0,46	3,94
43	I	F	2,78	-2,93	-0,37	0,99	-0,46	3,76
43	I	F	2,91	-2,23	-0,56	0,99	-0,37	3,68
44	J	F	2,73	-2,91	-0,35	0,99	-0,17	3,18
44	J	F	2,77	-2,63	-0,33	0,96	-0,24	3,48
44	J	F	2,82	-3,26	-0,28	0,45	-0,02	2,40
44	J	F	2,88	-3,17	-0,30	0,98	-0,36	3,67
44	J	F	3,12	-2,99	-0,38	0,99	-0,23	3,59
44	J	F	3,22	-3,36	-0,32	0,99	-0,25	3,41

ID	I	G	Sigmóide			Reta		
			k_1	k_2	k_3	R^2	V_1	θ
45	I	M	2,24	-2,42	-0,44	0,99	-0,34	3,07
45	I	M	2,51	-2,47	-0,42	0,96	-0,31	3,50
45	I	M	2,58	-2,57	-0,36	0,98	-0,40	3,81
45	I	M	2,61	-2,21	-0,56	1,00	-0,46	3,90
45	I	M	2,74	-2,99	-0,36	0,99	-0,39	3,40
46	I	F	1,98	-2,08	-0,49	0,87	-0,24	2,75
46	I	F	2,07	-1,83	-0,55	0,98	-0,29	2,86
46	I	F	2,28	-2,42	-0,40	0,98	-0,30	3,10
46	I	F	2,53	-2,43	-0,44	1,00	-0,45	3,45
46	I	F	2,53	-2,41	-0,48	1,00	-0,44	3,70
46	I	F	2,61	-2,75	-0,37	0,98	-0,35	3,33
46	I	F	2,64	-2,16	-0,49	0,99	-0,37	3,50
46	I	F	2,67	-2,35	-0,45	0,99	-0,44	3,83
46	I	F	2,72	-2,36	-0,56	1,00	-0,44	3,55
47	J	M	2,43	-2,67	-0,26	0,99	-0,39	3,12
47	J	M	2,71	-3,35	-0,29	1,00	-0,29	2,88
47	J	M	2,81	-3,05	-0,17	0,99	-0,40	3,60
47	J	M	2,91	-2,93	-0,47	1,00	-0,32	3,17
47	J	M	2,93	-2,98	-0,32	0,99	-0,35	3,33
48	I	F	2,03	-2,90	-0,23	0,99	-0,30	2,62
48	I	F	2,15	-2,60	-0,25	0,94	-0,26	2,68
48	I	F	2,43	-1,44	-0,32	0,92	-0,26	2,60
48	I	F	2,43	-2,48	-0,43	1,00	-0,38	3,19
48	I	F	2,48	-2,50	-0,45	0,95	-0,30	2,81
48	I	F	2,66	-2,53	-0,34	0,99	-0,42	3,44
48	I	F	2,68	-2,57	-0,32	0,95	-0,32	3,00
48	I	F	2,73	-2,50	-0,54	0,99	-0,30	3,29
48	I	F	2,89	-2,43	-0,51	0,98	-0,38	4,06
49	I	M	2,76	-2,44	-0,28	0,99	-0,45	3,83
49	I	M	2,82	-1,89	-0,21	0,89	-0,32	3,29
49	I	M	2,90	-2,37	-0,26	1,00	-0,47	3,80
49	I	M	2,94	-2,21	-0,30	0,99	-0,38	3,45
49	I	M	2,94	-2,02	-0,30	0,98	-0,40	3,93
49	I	M	2,95	-2,53	-0,32	1,00	-0,59	4,63
49	I	M	3,00	-2,45	-0,38	1,00	-0,47	4,06
49	I	M	3,00	-1,93	-0,44	0,99	-0,41	3,67
49	I	M	3,01	-2,31	-0,40	0,99	-0,42	3,98
49	I	M	3,07	-2,21	-0,26	0,99	-0,47	4,18
50	J	M	1,81	-2,69	-0,23	0,92	-0,26	2,55
50	J	M	1,82	-2,98	-0,25	0,96	-0,10	1,62
50	J	M	1,83	-2,88	-0,27	0,99	-0,35	2,76
50	J	M	1,84	-2,83	-0,20	0,97	-0,25	2,07
50	J	M	1,88	-2,52	-0,30	0,96	-0,25	2,28
50	J	M	1,89	-2,08	-0,39	0,70	-0,06	1,51
50	J	M	2,10	-2,97	-0,23	0,54	-0,03	1,33
51	I	F	3,08	-2,41	-0,32	0,97	-0,59	4,76
51	I	F	3,14	-2,74	-0,37	0,97	-0,42	3,70
51	I	F	3,20	-2,65	-0,41	0,98	-0,55	4,46
51	I	F	3,32	-2,17	-0,47	1,00	-0,59	4,80
51	I	F	3,41	-2,66	-0,32	0,91	-0,43	3,98
51	I	F	3,43	-2,79	-0,32	0,97	-0,54	4,81
51	I	F	3,46	-2,71	-0,49	0,99	-0,61	4,92
51	I	F	3,48	-2,53	-0,40	0,90	-0,46	4,14
51	I	F	3,52	-2,80	-0,41	0,97	-0,59	4,31
52	I	F	2,79	-2,51	-0,52	0,97	-0,27	3,47
52	I	F	2,88	-2,46	-0,52	0,94	-0,19	3,00
52	I	F	2,88	-2,45	-0,55	0,95	-0,18	2,81
52	I	F	2,92	-2,46	-0,51	0,99	-0,38	3,76
52	I	F	3,10	-2,49	-0,51	0,97	-0,27	3,73
52	I	F	3,15	-2,34	-0,51	0,98	-0,37	3,93
52	I	F	3,48	-2,62	-0,55	0,96	-0,22	3,63
53	I	F	2,37	-2,82	-0,30	0,99	-0,35	3,04
53	I	F	2,74	-2,96	-0,48	0,84	-0,12	2,34
53	I	F	2,82	-2,94	-0,29	0,95	-0,32	2,87
53	I	F	2,84	-2,84	-0,29	0,86	-0,16	2,32
53	I	F	2,97	-2,98	-0,34	0,99	-0,39	3,59
53	I	F	3,12	-2,97	-0,36	0,91	-0,14	2,47
53	I	F	3,22	-2,89	-0,43	0,92	-0,18	2,74
54	I	M	2,43	-2,74	-0,35	0,58	-0,10	1,85
54	I	M	2,68	-3,21	-0,32	0,81	-0,10	1,90

ID	I	G	Sigmóide			Reta		
			k_1	k_2	k_3	R^2	V_1	θ
54	I	M	2,91	-2,58	-0,45	0,88	-0,19	2,66
54	I	M	2,97	-3,10	-0,35	0,82	-0,18	2,68
54	I	M	2,99	-2,81	-0,42	0,51	-0,13	2,27
54	I	M	3,10	-2,93	-0,34	0,96	-0,54	4,06
55	J	F	2,32	-2,52	-0,40	0,90	-0,12	2,08
55	J	F	2,36	-2,36	-0,39	0,82	-0,10	1,99
55	J	F	2,38	-2,11	-0,50	1,00	-0,33	3,10
55	J	F	2,39	-2,44	-0,41	0,94	-0,14	2,13
55	J	F	2,44	-2,51	-0,38	0,94	-0,15	2,50
55	J	F	2,45	-2,31	-0,44	0,94	-0,14	2,25
55	J	F	2,49	-2,06	-0,62	0,90	-0,15	2,32
55	J	F	2,49	-2,37	-0,41	0,81	-0,20	2,38
55	J	F	2,50	-2,65	-0,48	0,89	-0,11	2,06
56	I	F	1,87	-1,37	-0,36	0,94	-0,14	2,17
56	I	F	1,98	-1,84	-0,38	0,98	-0,26	2,80
56	I	F	1,99	-2,39	-0,33	0,93	-0,14	2,09
56	I	F	2,07	-1,69	-0,45	0,97	-0,33	2,86
56	I	F	2,24	-2,52	-0,25	0,99	-0,30	2,86
56	I	F	2,33	-1,62	-0,62	0,99	-0,29	3,01
56	I	F	2,54	-2,15	-0,55	0,91	-0,14	2,39
57	J	F	2,08	-2,42	-0,35	0,88	-0,12	2,04
57	J	F	2,16	-2,08	-0,52	0,88	-0,13	2,21
57	J	F	2,32	-2,42	-0,45	0,70	-0,08	1,89
57	J	F	2,32	-2,68	-0,31	0,86	-0,11	1,95
57	J	F	2,32	-2,24	-0,48	0,95	-0,17	2,42
57	J	F	2,63	-2,37	-0,52	0,98	-0,39	3,36
58	J	F	3,03	-2,75	-0,45	0,94	-0,24	3,28
58	J	F	3,05	-2,86	-0,41	0,59	-1,54	7,22
58	J	F	3,19	-2,56	-0,51	0,99	-0,36	4,19
58	J	F	3,20	-2,82	-0,35	0,86	-0,18	2,79
58	J	F	3,20	-2,71	-0,51	0,79	-0,19	2,67
58	J	F	3,28	-2,85	-0,48	0,88	-0,17	2,70
58	J	F	3,30	-2,58	-0,56	0,85	-0,24	3,22
58	J	F	3,36	-2,73	-0,46	0,74	-0,20	2,99
58	J	F	3,38	-2,76	-0,46	0,94	-0,25	3,39
59	J	F	2,33	-2,21	-0,36	0,95	-0,16	2,34
59	J	F	2,37	-1,89	-0,47	0,97	-0,38	3,12
59	J	F	2,67	-2,42	-0,43	0,97	-0,35	3,22
59	J	F	2,71	-2,23	-0,45	0,90	-0,15	2,44
59	J	F	2,81	-2,21	-0,54	0,91	-0,16	2,58
60	I	F	2,24	-2,80	-0,31	0,99	-0,36	3,13
60	I	F	2,29	-2,26	-0,38	0,85	-0,12	2,23
60	I	F	2,30	-2,60	-0,38	0,88	-0,12	2,14
60	I	F	2,33	-2,64	-0,39	0,99	-0,37	3,27
60	I	F	2,34	-2,35	-0,39	0,87	-0,13	2,41
60	I	F	2,37	-2,64	-0,37	0,93	-0,14	2,35
60	I	F	2,50	-2,42	-0,32	0,98	-0,38	3,28

Tabela IV.2 - Coeficientes determinados para os modelos que representam as acelerações observadas por cada motorista no ACLIVE

ID	I	G	Sigmóide			Reta		
			k_1	k_2	k_3	R^2	V_1	θ
1	J	M	3,57	-3,01	-0,45	0,05	-0,02	2,08
1	J	M	3,63	-3,09	-0,56	1,00	-0,39	4,02
1	J	M	3,68	-3,16	-0,58	1,00	-0,36	4,24
1	J	M	3,69	-3,22	-0,51	0,99	-0,49	4,53
1	J	M	3,72	-3,07	-0,55	0,99	-0,49	4,49
1	J	M	3,73	-3,21	-0,49	1,00	-0,53	4,80
2	J	F	1,87	-2,14	-0,86	0,99	-0,19	2,39
2	J	F	2,02	-2,33	-0,81	0,99	-0,15	2,43
2	J	F	2,09	-2,34	-0,92	0,91	-0,15	2,46
2	J	F	2,14	-2,42	-0,81	0,99	-0,21	2,71
2	J	F	2,15	-2,34	-0,79	0,98	-0,16	2,58
3	J	F	2,07	-2,87	-0,63	0,99	-0,27	2,75
3	J	F	2,10	-2,51	-0,67	0,98	-0,25	2,62
3	J	F	2,12	-2,92	-0,58	0,99	-0,20	2,48
3	J	F	2,12	-2,59	-0,83	0,99	-0,19	2,60
3	J	F	2,16	-3,12	-0,61	0,89	-0,18	2,57
3	J	F	2,21	-3,18	-0,51	0,99	-0,33	3,02
4	J	F	1,67	-2,67	-0,57	1,00	-0,23	2,50
4	J	F	1,72	-2,23	-0,81	0,96	-0,11	2,14
4	J	F	1,73	-3,15	-0,50	0,99	-0,14	2,11
4	J	F	1,77	-3,47	-0,44	0,98	-0,21	2,51
4	J	F	1,82	-2,49	-0,66	1,00	-0,21	2,50
4	J	F	1,92	-2,80	-0,55	0,99	-0,18	2,44
4	J	F	2,01	-3,35	-0,40	0,99	-0,22	2,69
5	J	M	1,91	-2,40	-1,06	0,98	-0,24	2,66
5	J	M	1,91	-2,23	-0,98	0,98	-0,17	2,43
5	J	M	1,99	-2,38	-1,19	0,98	-0,14	2,52
5	J	M	2,07	-2,37	-0,77	1,00	-0,33	3,01
5	J	M	2,21	-2,37	-0,86	1,00	-0,35	3,21
6	J	M	2,26	-2,54	-0,88	0,95	-0,19	2,74
6	J	M	2,35	-2,16	-0,93	1,00	-0,31	3,15
6	J	M	2,40	-1,91	-1,08	0,95	-0,11	2,75
7	J	M	1,94	-2,96	-0,57	1,00	-0,19	2,59
7	J	M	2,04	-3,07	-0,66	0,98	-0,23	2,49
7	J	M	2,33	-3,02	-0,69	1,00	-0,34	3,13
7	J	M	2,46	-3,25	-0,51	1,00	-0,30	3,27
7	J	M	2,47	-2,99	-0,47	0,99	-0,33	3,29
8	J	F	2,04	-3,47	-0,41	1,00	-0,25	2,60
8	J	F	2,07	-2,87	-0,57	0,99	-0,12	2,45
8	J	F	2,10	-2,99	-0,53	0,97	-0,12	2,39
8	J	F	2,23	-2,94	-0,62	0,91	-0,06	2,31
8	J	F	2,29	-2,78	-0,66	0,99	-0,25	3,10
8	J	F	2,31	-2,82	-0,61	1,00	-0,14	2,71
8	J	F	2,32	-3,19	-0,52	0,99	-0,14	2,58
9	J	M	2,05	-2,43	-0,67	0,99	-0,19	2,63
9	J	M	2,10	-3,16	-0,73	0,99	-0,24	2,85
9	J	M	2,23	-2,12	-0,85	0,97	-0,27	3,19
9	J	M	2,30	-2,58	-0,77	0,89	-0,13	2,53
9	J	M	2,33	-2,64	-0,82	1,00	-0,28	3,18
9	J	M	2,39	-2,71	-0,82	0,99	-0,41	3,62
10	J	M	2,15	-2,93	-0,58	0,98	-0,14	2,43
10	J	M	2,16	-3,14	-0,49	1,00	-0,37	3,13
10	J	M	2,29	-3,26	-0,50	0,99	-0,23	2,68
10	J	M	2,43	-3,36	-0,40	1,00	-0,34	3,42
10	J	M	2,53	-3,21	-0,41	1,00	-0,39	3,49
11	J	F	1,77	-2,59	-0,64	0,98	-0,15	2,21
11	J	F	1,83	-2,66	-0,86	0,95	-0,14	2,23
11	J	F	1,85	-2,98	-0,56	0,99	-0,16	2,08
11	J	F	1,96	-2,62	-0,79	0,99	-0,26	2,63
11	J	F	1,98	-2,67	-0,77	0,96	-0,19	2,52
11	J	F	2,00	-2,25	-0,83	0,99	-0,28	3,03
11	J	F	2,02	-2,37	-0,85	0,97	-0,14	2,35
11	J	F	2,06	-2,89	-0,64	0,99	-0,22	2,67
12	J	M	1,96	-2,89	-0,61	0,97	-0,23	2,60
12	J	M	1,97	-2,68	-0,70	1,00	-0,27	2,68
12	J	M	2,10	-3,09	-0,57	1,00	-0,26	2,59
12	J	M	2,16	-3,02	-0,63	0,99	-0,19	2,42
12	J	M	2,17	-3,19	-0,57	1,00	-0,27	2,61
12	J	M	2,19	-3,08	-0,45	0,98	-0,21	2,44
12	J	M	2,42	-3,01	-0,52	0,99	-0,32	2,97
12	J	M	2,46	-3,29	-0,47	0,99	-0,29	2,97
13	J	M	2,25	-2,71	-0,90	0,99	-0,16	2,65
13	J	M	2,29	-2,72	-0,92	0,98	-0,15	2,52
13	J	M	2,44	-2,81	-0,71	0,99	-0,23	2,89
13	J	M	2,52	-2,75	-0,63	0,99	-0,26	3,02
14	I	M	2,08	-3,17	-0,41	0,99	-0,14	2,49
14	I	M	2,31	-2,74	-0,78	0,91	-0,21	2,97
14	I	M	2,34	-3,29	-0,84	0,96	-0,11	2,50
14	I	M	2,51	-2,90	-0,58	0,99	-0,35	3,54
14	I	M	2,51	-2,94	-0,86	0,99	-0,15	2,87
14	I	M	2,55	-3,09	-0,65	0,99	-0,28	3,25
14	I	M	2,57	-2,94	-0,85	1,00	-0,25	3,18
14	I	M	2,57	-2,76	-0,85	1,00	-0,25	3,25
14	I	M	2,68	-3,17	-0,62	1,00	-0,32	3,36
15	I	M	2,24	-2,80	-0,49	0,98	-0,09	2,53
15	I	M	2,25	-2,90	-0,54	1,00	-0,26	2,95
15	I	M	2,30	-2,76	-0,53	0,78	-0,10	2,32
15	I	M	2,34	-2,36	-0,77	0,99	-0,19	2,85
15	I	M	2,41	-2,34	-0,82	0,96	-0,09	2,64
15	I	M	2,45	-2,23	-0,80	0,99	-0,11	2,74
15	I	M	2,65	-2,39	-0,92	0,99	-0,20	3,09
15	I	M	2,65	-2,53	-0,68	0,92	-0,17	3,05
16	J	F	2,56	-3,21	-0,44	1,00	-0,20	2,84
16	J	F	2,63	-3,23	-0,47	1,00	-0,25	3,05
16	J	F	2,65	-3,21	-0,36	0,97	-0,20	3,11
16	J	F	2,91	-3,15	-0,52	0,98	-0,31	3,58
17	I	M	2,05	-2,70	-0,87	0,99	-0,16	2,38
17	I	M	2,08	-2,42	-0,62	1,00	-0,26	2,70
17	I	M	2,13	-2,35	-0,95	1,00	-0,22	2,68
17	I	M	2,19	-2,97	-0,61	1,00	-0,29	2,78
17	I	M	2,23	-3,23	-0,60	1,00	-0,27	2,73
17	I	M	2,25	-2,66	-0,66	1,00	-0,23	2,75
17	I	M	2,29	-3,15	-0,64	0,96	-0,24	2,68
18	I	M	1,38	-2,27	-0,70	0,67	-0,05	1,52
18	I	M	1,39	-2,54	-0,73	0,79	-0,06	1,66
18	I	M	1,45	-2,02	-0,97	0,94	-0,04	1,56
18	I	M	1,56	-2,65	-0,79	0,99	-0,13	1,96
18	I	M	1,58	-2,64	-0,50	0,50	0,01	1,59
18	I	M	1,75	-2,31	-0,70	0,99	-0,19	2,42
18	I	M	1,86	-3,26	-0,48	0,99	-0,19	2,24
18	I	M	2,07	-3,41	-0,37	0,98	-0,33	2,90
19	J	F	1,67	-2,67	-0,55	1,00	-0,22	2,54
19	J	F	1,76	-2,73	-0,74	0,99	-0,16	2,22
19	J	F	1,83	-2,75	-0,72	0,99	-0,15	2,19
19	J	F	1,87	-2,41	-0,84	0,99	-0,18	2,45
19	J	F	2,01	-2,71	-0,60	1,00	-0,22	2,64
19	J	F	2,03	-2,91	-0,66	0,95	-0,24	2,62
19	J	F	2,18	-3,07	-0,56	1,00	-0,27	2,85
19	J	F	2,27	-3,08	-0,47	1,00	-0,21	2,61
20	J	M	2,05	-2,67	-0,52	0,93	-0,26	2,74
20	J	M	2,09	-2,36	-0,63	0,97	-0,22	2,70
20	J	M	2,17	-2,59	-0,50	0,99	-0,22	2,63
20	J	M	2,31	-2,97	-0,47	0,98	-0,18	2,64
20	J	M	2,32	-2,88	-0,57	1,00	-0,24	2,73
20	J	M	2,35	-2,24	-0,59	0,02	-0,01	2,23
20	J	M	2,37	-2,61	-0,47	0,96	-0,29	3,19
21	I	M	2,16	-3,16	-0,45	0,97	-0,14	2,28
21	I	M	2,25	-2,82	-0,72	0,99	-0,25	2,99
21	I	M	2,30	-3,09	-0,50	1,00	-0,24	2,84
21	I	M	2,30	-2,94	-0,58	0,99	-0,22	2,81
21	I	M	2,31	-2,75	-0,67	1,00	-0,26	3,04
21	I	M	2,41	-2,82	-0,60	1,00	-0,27	3,09
21	I	M	2,45	-2,82	-0,72	1,00	-0,29	3,20
21	I	M	2,45	-2,77	-0,75	0,99	-0,24	3,06
22	J	M	2,18	-3,08	-0,65	1,00	-0,24	2,66
22	J	M	2,21	-2,75	-0,79	0,97	-0,23	2,68
22	J	M	2,26	-2,91	-0,79	0,99	-0,31	3,10
22	J	M	2,27	-2,84	-0,63	1,00	-0,25	2,83
22	J	M	2,28	-2,56	-0,72	1,00	-0,28	2,91
22	J	M	2,30	-2,56	-0,84	1,00	-0,30	2,93

ID	I	G	Sigmóide			Reta		
			k_1	k_2	k_3	R^2	V_1	θ
22	J	M	2,35	-2,47	-0,85	1,00	-0,36	3,35
22	J	M	2,40	-2,37	-0,92	1,00	-0,31	3,25
22	J	M	2,48	-2,39	-0,85	0,96	-0,25	2,93
23	I	M	1,55	-2,09	-0,86	0,55	-0,01	1,59
23	I	M	1,70	-2,49	-0,79	0,97	-0,17	2,29
23	I	M	1,76	-2,50	-1,03	0,99	-0,08	2,04
23	I	M	1,86	-3,20	-0,43	0,99	-0,10	2,12
23	I	M	1,90	-2,32	-1,14	0,88	-0,12	2,18
24	J	F	2,44	-3,03	-0,62	0,94	-0,19	3,08
24	J	F	2,49	-2,57	-0,76	0,99	-0,11	2,85
24	J	F	2,55	-2,54	-0,66	0,98	-0,20	3,22
24	J	F	2,56	-3,05	-0,62	0,89	-0,17	3,10
24	J	F	2,63	-2,83	-0,61	0,97	-0,26	3,36
24	J	F	2,75	-2,58	-0,71	0,97	-0,16	3,21
25	I	M	1,97	-2,67	-0,59	0,99	-0,16	2,19
25	I	M	2,03	-3,46	-0,29	0,68	-0,15	2,25
25	I	M	2,19	-3,09	-0,61	0,97	-0,16	2,55
25	I	M	2,32	-2,03	-0,75	0,96	-0,34	3,50
25	I	M	2,35	-3,10	-0,43	0,99	-0,24	2,94
25	I	M	2,43	-2,74	-0,62	1,00	-0,29	3,08
25	I	M	2,45	-2,72	-0,53	0,99	-0,26	3,17
25	I	M	2,45	-2,85	-0,46	0,99	-0,27	2,90
25	I	M	2,47	-2,95	-0,55	0,92	-0,32	3,25
25	I	M	2,59	-2,72	-0,47	0,98	-0,41	3,77
25	I	M	2,64	-3,04	-0,38	0,81	-0,25	3,09
25	I	M	2,70	-3,34	-0,37	0,97	-0,39	3,59
26	J	M	2,02	-2,44	-0,89	1,00	-0,21	2,66
26	J	M	2,09	-2,88	-0,85	1,00	-0,29	2,91
26	J	M	2,16	-2,90	-0,64	0,98	-0,20	2,70
26	J	M	2,20	-2,29	-0,98	0,98	-0,23	2,86
26	J	M	2,26	-2,67	-0,84	0,99	-0,27	2,89
26	J	M	2,26	-2,70	-1,01	1,00	-0,31	3,20
27	J	F	2,01	-2,46	-0,66	1,00	-0,20	2,59
27	J	F	2,06	-2,24	-0,94	0,97	-0,09	2,30
27	J	F	2,14	-2,23	-0,84	0,94	-0,16	2,74
27	J	F	2,22	-2,34	-0,95	0,96	-0,11	2,50
28	I	F	1,75	-3,13	-0,68	0,99	-0,26	2,39
28	I	F	1,96	-2,68	-0,71	0,99	-0,24	2,71
28	I	F	2,06	-2,68	-0,88	0,98	-0,14	2,30
28	I	F	2,09	-2,82	-0,63	1,00	-0,20	2,49
28	I	F	2,11	-3,05	-0,69	0,98	-0,28	2,87
28	I	F	2,27	-2,40	-0,77	1,00	-0,31	3,27
28	I	F	2,30	-3,18	-0,60	0,96	-0,27	2,81
28	I	F	2,32	-2,85	-0,55	1,00	-0,34	3,19
28	I	F	2,33	-2,86	-0,65	0,99	-0,19	2,50
28	I	F	2,34	-2,83	-0,74	1,00	-0,27	2,89
29	J	M	1,83	-3,02	-0,85	0,97	-0,08	2,04
29	J	M	1,97	-3,09	-0,46	1,00	-0,21	2,41
29	J	M	2,05	-2,72	-0,68	1,00	-0,26	2,66
29	J	M	2,05	-2,32	-0,74	0,99	-0,23	2,72
31	I	F	2,45	-2,74	-0,67	0,97	-0,25	2,82
31	I	F	2,46	-3,01	-0,58	0,98	-0,17	2,58
31	I	F	2,55	-2,89	-0,63	1,00	-0,30	3,24
31	I	F	2,78	-3,14	-0,52	0,99	-0,32	3,23
32	J	M	2,19	-2,83	-0,61	1,00	-0,26	2,97
32	J	M	2,22	-3,02	-0,53	0,99	-0,27	2,77
32	J	M	2,27	-1,95	-0,93	0,86	-0,18	2,95
32	J	M	2,32	-2,40	-0,91	1,00	-0,15	2,74
32	J	M	2,44	-2,97	-0,89	0,97	-0,34	3,49
32	J	M	2,50	-1,96	-0,86	0,99	-0,26	3,31
32	J	M	2,51	-2,80	-0,84	1,00	-0,34	3,33
32	J	M	2,56	-2,41	-0,83	0,98	-0,38	3,67
33	I	F	1,88	-3,26	-0,44	0,95	0,28	0,67
33	I	F	2,20	-3,24	-0,40	0,90	0,09	1,38
33	I	F	2,26	-3,22	-0,54	1,00	-0,11	2,53
33	I	F	2,46	-3,04	-0,47	0,93	-0,13	2,41
33	I	F	2,63	-3,23	-0,49	1,00	-0,23	3,10
33	I	F	2,66	-3,49	-0,40	1,00	-0,23	2,86
34	I	M	2,22	-3,10	-0,52	0,99	-0,17	2,62
34	I	M	2,31	-3,23	-0,44	1,00	-0,25	2,99

ID	I	G	Sigmóide			Reta		
			k_1	k_2	k_3	R^2	V_1	θ
34	I	M	2,56	-2,77	-0,51	1,00	-0,33	3,28
34	I	M	2,64	-3,20	-0,48	0,99	-0,29	3,32
34	I	M	2,71	-3,09	-0,47	0,98	-0,28	3,41
34	I	M	2,74	-3,23	-0,37	0,99	-0,21	3,04
34	I	M	2,74	-3,11	-0,46	0,99	-0,24	3,26
34	I	M	2,82	-3,27	-0,36	0,98	-0,30	3,39
35	J	F	2,11	-2,76	-0,59	0,99	-0,23	2,73
35	J	F	2,12	-2,53	-0,83	1,00	-0,11	2,36
35	J	F	2,22	-3,27	-0,37	0,98	-0,35	3,12
35	J	F	2,33	-3,28	-0,45	0,99	-0,25	2,79
35	J	F	2,45	-2,63	-0,68	1,00	-0,32	3,41
35	J	F	2,63	-3,03	-0,56	0,99	-0,34	3,08
36	J	F	2,49	-3,21	-0,42	1,00	-0,42	3,37
36	J	F	2,59	-3,13	-0,54	0,99	-0,33	3,24
36	J	F	2,68	-3,25	-0,47	0,98	-0,31	3,07
36	J	F	2,72	-2,95	-0,63	1,00	-0,36	3,33
36	J	F	2,74	-3,13	-0,52	0,99	-0,60	4,14
36	J	F	2,75	-2,91	-0,54	1,00	-0,54	3,93
36	J	F	2,76	-3,25	-0,49	0,99	-0,54	4,06
36	J	F	2,77	-3,14	-0,52	0,99	-0,47	3,79
36	J	F	2,78	-3,08	-0,47	0,99	-0,43	3,68
36	J	F	2,99	-3,17	-0,51	1,00	-0,24	3,24
37	I	F	1,96	-2,98	-0,58	1,00	-0,20	2,42
37	I	F	2,00	-2,96	-0,58	1,00	-0,07	2,12
37	I	F	2,02	-2,93	-0,78	1,00	-0,10	2,26
37	I	F	2,08	-2,94	-0,58	0,99	-0,20	2,56
37	I	F	2,08	-2,72	-0,65	1,00	-0,28	2,83
37	I	F	2,09	-2,91	-0,68	1,00	-0,27	2,67
37	I	F	2,17	-2,55	-0,81	0,99	-0,28	2,93
37	I	F	2,21	-2,81	-0,64	1,00	-0,26	2,86
38	I	M	2,46	-2,78	-0,62	0,99	-0,29	3,31
38	I	M	2,54	-3,29	-0,47	0,98	-0,20	2,80
38	I	M	2,56	-2,94	-0,57	0,99	-0,33	3,52
38	I	M	2,61	-3,19	-0,50	0,76	-0,10	2,67
38	I	M	2,64	-2,78	-0,58	1,00	-0,29	3,33
39	I	F	1,96	-2,77	-0,68	1,00	-0,18	2,38
39	I	F	1,98	-2,71	-0,75	0,98	-0,22	2,61
39	I	F	2,04	-2,57	-0,78	0,99	-0,18	2,46
39	I	F	2,27	-2,92	-0,75	0,99	-0,16	2,42
40	I	F	2,21	-3,25	-0,42	0,97	-0,25	2,51
40	I	F	2,41	-2,90	-0,55	1,00	-0,18	2,80
40	I	F	2,47	-2,86	-0,54	0,98	-0,27	3,21
40	I	F	2,48	-3,00	-0,47	0,99	-0,30	3,24
40	I	F	2,51	-2,95	-0,63	0,99	-0,32	3,07
40	I	F	2,56	-2,95	-0,53	0,99	-0,25	3,21
40	I	F	2,63	-3,31	-0,42	0,99	-0,25	2,99
41	I	M	2,18	-2,63	-0,72	1,00	-0,23	2,74
41	I	M	2,19	-2,55	-0,76	0,84	-0,08	2,41
41	I	M	2,49	-2,66	-0,79	0,98	-0,17	2,98
42	J	M	1,48	-2,17	-0,80	0,92	-0,12	1,89
42	J	M	1,62	-2,96	-0,49	0,99	-0,17	2,03
42	J	M	1,68	-2,62	-0,73	0,99	-0,11	1,97
42	J	M	1,71	-2,38	-0,75	0,99	-0,26	2,55
42	J	M	1,90	-2,26	-0,89	1,00	-0,27	2,60
42	J	M	1,91	-2,04	-1,13	1,00	-0,30	2,87
42	J	M	1,92	-2,30	-0,75	0,99	-0,23	2,44
42	J	M	1,96	-2,22	-0,89	0,99	-0,28	2,86
42	J	M	2,04	-2,42	-0,94	1,00	-0,30	2,95
43	I	F	2,20	-3,16	-0,51	0,97	-0,18	2,66
43	I	F	2,27	-2,85	-0,46	0,99	-0,18	2,71
43	I	F	2,35	-2,81	-0,67	0,96	-0,17	2,66
43	I	F	2,36	-3,05	-0,42	0,99	-0,32	3,19
43	I	F	2,43	-2,81	-0,65	1,00	-0,35	3,38
43	I	F	2,55	-2,81	-0,54	1,00	-0,31	3,15
44	J	F	2,28	-3,43	-0,41	0,91	-0,11	2,68
44	J	F	2,54	-3,07	-0,38	0,97	-0,17	3,09
44	J	F	2,54	-3,35	-0,35	0,91	-0,16	2,79
44	J	F	2,61	-3,50	-0,33	0,98	-0,16	2,82
44	J	F	2,65	-2,71	-0,58	0,98	-0,21	3,22
44	J	F	2,65	-2,99	-0,50	0,99	-0,18	3,06

ID	I	G	Sigmóide			Reta		
			k_1	k_2	k_3	R^2	V_1	θ
44	J	F	2,74	-3,16	-0,48	0,99	-0,24	3,27
44	J	F	2,76	-3,35	-0,45	0,98	-0,13	2,70
44	J	F	2,93	-3,08	-0,59	0,99	-0,18	2,99
44	J	F	2,96	-3,27	-0,48	0,99	-0,28	3,50
45	I	M	2,06	-1,89	-0,95	0,94	-0,07	2,28
45	I	M	2,25	-2,84	-0,64	1,00	-0,21	2,80
45	I	M	2,32	-3,30	-0,44	0,99	-0,15	2,46
45	I	M	2,34	-2,54	-0,74	0,99	-0,26	2,96
45	I	M	2,39	-2,79	-0,66	0,98	-0,22	3,03
45	I	M	2,43	-3,30	-0,38	0,99	-0,22	2,84
46	I	F	2,06	-2,86	-0,61	0,99	-0,28	2,76
46	I	F	2,06	-2,17	-0,88	0,87	-0,08	2,34
46	I	F	2,15	-2,50	-0,71	1,00	-0,29	2,98
46	I	F	2,22	-2,36	-0,98	0,92	-0,09	2,40
46	I	F	2,23	-2,68	-0,76	0,99	-0,22	2,75
46	I	F	2,26	-2,42	-0,91	0,91	-0,08	2,42
46	I	F	2,49	-2,78	-0,72	0,99	-0,25	2,96
47	J	M	2,04	-2,84	-0,65	0,70	0,07	1,47
47	J	M	2,10	-2,89	-0,54	0,96	-0,14	2,56
47	J	M	2,13	-3,06	-0,27	1,00	-0,40	3,30
47	J	M	2,22	-2,84	-0,57	0,95	-0,16	2,61
47	J	M	2,28	-3,12	-0,48	0,99	-0,20	2,55
47	J	M	2,28	-3,31	-0,37	1,00	-0,21	2,72
47	J	M	2,48	-2,54	-0,57	1,00	-0,27	3,36
47	J	M	2,69	-3,66	-0,42	0,97	-0,28	3,06
48	I	F	2,23	-2,82	-0,67	0,99	-0,28	2,80
48	I	F	2,25	-2,99	-0,52	1,00	-0,26	2,84
48	I	F	2,27	-2,93	-0,61	1,00	-0,29	3,03
48	I	F	2,34	-2,60	-0,79	1,00	-0,25	3,01
48	I	F	2,39	-2,83	-0,64	0,99	-0,25	3,01
48	I	F	2,44	-2,83	-0,70	0,98	-0,23	2,99
48	I	F	2,52	-2,98	-0,54	0,97	-0,23	3,22
49	I	M	2,44	-2,93	-0,55	1,00	-0,28	3,17
49	I	M	2,47	-3,00	-0,50	0,99	-0,26	3,10
49	I	M	2,51	-2,52	-0,76	0,99	-0,32	3,53
49	I	M	2,71	-2,57	-0,53	1,00	-0,28	3,33
50	J	M	1,50	-3,10	-0,45	0,39	-0,01	1,27
50	J	M	1,50	-2,44	-0,65	0,59	-0,03	1,52
50	J	M	1,51	-3,01	-0,51	0,94	-0,16	1,95
50	J	M	1,53	-3,35	-0,40	0,97	-0,11	1,83
50	J	M	1,60	-2,83	-0,77	1,00	-0,17	1,98
50	J	M	1,61	-2,24	-1,08	0,51	-0,02	1,61
50	J	M	1,61	-2,10	-1,00	0,97	-0,15	2,23
50	J	M	1,95	-3,40	-0,40	1,00	-0,34	2,55
51	I	F	2,66	-3,13	-0,55	0,75	-0,09	2,26
51	I	F	2,84	-2,94	-0,60	0,51	-0,05	2,40
51	I	F	2,93	-2,93	-0,46	0,99	-0,64	4,72
51	I	F	2,96	-3,11	-0,53	0,99	-0,33	3,61
51	I	F	3,01	-2,94	-0,55	0,99	-0,37	3,75
51	I	F	3,04	-2,92	-0,51	0,99	-0,31	3,50
51	I	F	3,11	-2,92	-0,61	0,99	-0,55	4,58
52	I	F	2,39	-2,78	-0,69	0,98	-0,22	2,95
52	I	F	2,40	-3,08	-0,53	0,99	-0,25	2,98
52	I	F	2,54	-2,71	-0,73	0,95	-0,17	2,79
52	I	F	2,54	-2,79	-0,81	1,00	-0,24	3,01
52	I	F	2,60	-2,68	-0,75	0,99	-0,24	3,20
52	I	F	2,63	-2,83	-0,67	1,00	-0,18	2,96
52	I	F	2,72	-2,98	-0,60	0,99	-0,26	3,50
52	I	F	2,77	-2,83	-0,76	0,99	-0,21	3,21
53	I	F	2,49	-3,06	-0,53	0,94	-0,22	2,78
53	I	F	2,49	-3,04	-0,72	0,87	-0,18	2,52
53	I	F	2,63	-3,27	-0,37	0,95	-0,34	3,46
53	I	F	2,69	-3,16	-0,47	0,91	-0,19	2,65
53	I	F	2,74	-3,15	-0,47	0,93	-0,33	3,57
53	I	F	2,88	-3,18	-0,42	0,91	-0,21	2,83
53	I	F	3,00	-3,15	-0,53	0,97	-0,32	3,54
53	I	F	3,07	-3,30	-0,45	0,84	-0,17	2,57
53	I	F	3,09	-3,34	-0,47	0,96	-0,30	3,38
54	I	M	2,18	-3,11	-0,47	0,99	-0,27	2,73
54	I	M	2,39	-3,18	-0,44	0,87	-0,17	2,49

ID	I	G	Sigmóide			Reta		
			k_1	k_2	k_3	R^2	V_1	θ
54	I	M	2,56	-2,93	-0,56	0,81	-0,19	2,52
54	I	M	2,68	-3,06	-0,55	0,66	-0,14	2,24
54	I	M	2,75	-2,93	-0,47	0,95	-0,24	2,83
54	I	M	2,82	-3,22	-0,44	0,63	-0,11	2,07
54	I	M	2,87	-3,13	-0,49	0,83	-0,21	2,61
54	I	M	2,90	-3,23	-0,50	0,97	-0,37	3,47
54	I	M	2,96	-2,99	-0,50	0,95	-0,29	3,30
55	J	F	1,94	-2,68	-0,84	0,97	-0,20	2,55
55	J	F	1,98	-2,42	-0,81	0,85	-0,15	2,29
55	J	F	2,08	-2,48	-1,00	0,92	-0,18	2,61
55	J	F	2,12	-2,89	-0,63	0,78	-0,14	2,12
56	I	F	1,50	-1,92	-0,89	0,95	-0,11	1,86
56	I	F	1,73	-2,20	-0,76	0,77	-0,12	2,01
56	I	F	1,78	-2,07	-0,89	0,93	-0,14	2,10
56	I	F	1,87	-2,23	-0,93	0,82	-0,12	2,07
56	I	F	1,87	-3,05	-0,65	0,94	-0,15	2,15
56	I	F	2,03	-2,57	-0,71	0,85	-0,16	2,30
56	I	F	2,10	-2,87	-0,62	0,95	-0,22	2,71
56	I	F	2,23	-2,28	-0,84	0,96	-0,22	2,73
57	J	F	1,67	-2,31	-0,89	0,98	-0,10	1,95
57	J	F	1,76	-2,53	-0,76	0,95	-0,14	2,34
57	J	F	1,84	-2,23	-0,84	0,99	-0,19	2,36
57	J	F	2,09	-2,48	-0,68	0,92	-0,18	2,35
57	J	F	2,18	-2,92	-0,68	0,89	-0,16	2,41
57	J	F	2,35	-2,29	-0,72	0,92	-0,21	2,61
58	J	F	2,73	-2,75	-0,56	1,00	-0,42	4,00
58	J	F	2,81	-2,88	-0,68	0,94	-0,27	3,47
58	J	F	2,83	-2,75	-0,74	0,94	-0,29	3,29
58	J	F	2,91	-2,65	-0,72	0,95	-0,31	3,66
58	J	F	2,95	-2,94	-0,63	0,98	-0,15	3,12
58	J	F	3,00	-2,97	-0,57	0,97	-0,39	4,07
58	J	F	3,04	-2,96	-0,59	0,99	-0,37	3,92
59	J	F	2,28	-2,54	-0,76	0,89	-0,19	2,46
59	J	F	2,30	-2,63	-0,72	0,85	-0,15	2,21
59	J	F	2,35	-2,63	-0,76	0,90	-0,21	2,51
59	J	F	2,35	-2,55	-0,92	0,91	-0,20	2,56
60	I	F	1,54	-2,61	-0,54	0,84	-0,11	1,74
60	I	F	1,96	-2,20	-0,65	0,89	-0,17	2,33
60	I	F	1,97	-2,25	-0,74	0,80	-0,14	2,20
60	I	F	2,01	-2,72	-0,51	0,77	-0,13	2,20
60	I	F	2,02	-2,31	-0,69	0,52	-0,08	1,91
60	I	F	2,09	-2,44	-0,66	0,99	-0,21	2,81
60	I	F	2,13	-2,86	-0,56	0,77	-0,13	2,14
60	I	F	2,19	-2,41	-0,68	0,78	-0,16	2,48
60	I	F	2,22	-2,18	-0,85	0,88	-0,19	2,69