

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**AVALIAÇÃO DA ESCOLHA DE ROTA DOS MOTORISTAS FRENTE À
COBRANÇA DE PEDÁGIO E RODOVIAS DE QUALIDADES DISTINTAS**

RITA DE CÁSSIA ZIGNANI

PORTO ALEGRE, 2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**AVALIAÇÃO DA ESCOLHA DE ROTA DOS MOTORISTAS FRENTE À
COBRANÇA DE PEDÁGIO E RODOVIAS DE QUALIDADES DISTINTAS**

Rita de Cássia Zignani

Orientadora: Helena Beatriz Bettella Cybis, Ph.D.

Banca Examinadora:

**Orlando Strambi, Dr.
PRT / USP**

**Christine Tessele Nodari, Dr.
PPGEP / UFRGS**

**Luiz Afonso dos Santos Senna, Ph.D.
PPGEP / UFRGS**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção como requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
Área de concentração: Sistemas de Transportes**

Porto Alegre, Maio de 2007

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof^a. Helena B. B. Cybis, Ph.D.

PPGEP / UFRGS

Orientadora

Prof. Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D.

Coordenador PPGEP / UFRGS

Banca Examinadora:

Orlando Strambi, Dr.

PRT / USP

Christine Tessele Nodari, Dr.

PPGEP / UFRGS

Luiz Afonso dos Santos Senna, Ph.D.

PPGEP / UFRGS

*"É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.*

*Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.
Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver ..."*

Martin Luther King

AGRADECIMENTOS

*Agradeço, com muita consideração
à minha orientadora Helena Beatriz Bettella Cybis,
pelos ensinamentos, apoio,
e por acreditar no meu trabalho;
aos professores do LASTRAN e PPGE, que fundamentaram
a minha formação em Transportes
aos colegas e amigos do LASTRAN que compartilharam a jornada
multiplicando as alegrias e fracionando as dificuldades;
em especial à minha amiga Paula Ariotti, pela motivação, companheirismo e pela amizade
verdadeira que construímos nesta jornada;
Aos meus pais, que sempre me apoiaram e me ensinaram os valores de um verdadeiro
vencedor: dedicação, honestidade e fé
ao meu amor Marcelo, por todo incentivo, carinho, compreensão, dedicação e
amor. Pelo companheirismo e participação em todas as horas. Por fazer parte da minha vida
e ser tão especial.*

Rita de Cássia Zignani

RESUMO

A malha rodoviária brasileira é caracterizada por vias com níveis de qualidade heterogêneos. Em geral, rodovias que possuem cobrança de pedágio apresentam melhor estado de conservação. Essa dissertação tem como objetivo avaliar a escolha de rota de diferentes classes de usuários, considerando-se a cobrança de pedágio e a diferença na qualidade das vias. A avaliação envolveu a realização de duas fases de pesquisa. A primeira fase buscou estimar os valores monetários dos atributos de tempo e distância de viagem através da técnica de Preferência Declarada. A segunda fase utilizou estes valores monetários como parâmetros da função de custo generalizado da modelagem de alocação de tráfego para estimar a escolha de rota dos usuários. A partir da metodologia proposta, um estudo de caso foi realizado em um trecho rodoviário que apresenta uma rodovia pedagiada e uma rota concorrente de menor qualidade sem cobrança. Os resultados da aplicação prática não refletiram os dados de fluxo observados nas rodovias avaliadas. A partir desta constatação, um questionário complementar foi elaborado buscando identificar o comportamento habitual dos usuários na região de estudo. Através dos resultados da pesquisa complementar, verificou-se que a maioria dos entrevistados não possuía conhecimento sobre a rota alternativa. A utilização dos dados provenientes destes usuários na modelagem não se mostrou apropriada, uma vez que sua escolha de rota não é baseada nas relações de tempo, distância e penalidades nas vias, consideradas nos modelos de alocação de tráfego. Com isso, pode-se verificar neste estudo que os princípios e limitações das técnicas e ferramentas utilizadas, bem como de sua utilização conjunta, devem ser avaliados.

Palavras-chave: Modelagem de Alocação de Tráfego, Preferência Declarada, Classes Múltiplas de Usuários, Rodovias de Qualidades Distintas, Pedágio.

ABSTRACT

The Brazilian road system is characterized by roads with heterogeneous level of quality. Generally, tolled roads present better quality conditions than those not tolled. This work aimed to evaluate the route choice of different user's classes considering toll collection and roads of different qualities. This evaluation was carried out with a methodology composed of two phases preceded by definition of the study region and the users classes considered. The first phase intended to estimate monetary values of time and distance through the Stated Preference technique. The second phase used these monetary values as parameters in an assignment model generalized cost function to estimate user's route choice. From the proposal methodology, a case study was carried out in a road stretch that presents a tolled highway and a worse quality and without charge alternative route. The practical application results did not reflected the observed flow data in the evaluated highways. From these results, a complementary questionnaire was elaborated to identify the habitual user's behavior in the study region. It was observed that the majority of the interviewed ones did not have knowledge of the alternative route. Using these data in the modeling was not appropriate because their route choice is not based in time, distance and road penalties relationship like in the assignment models. Thus, it was verified in this study that the principles and limitation of the used techniques and tools, as well as the joint use of these, might be taken in consideration.

Key words: Assignment Modeling, Stated Preference, Multiple User Classes, Different Road Qualities, Toll.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO	15
1.1 Justificativa da escolha do tema.....	16
1.2 Objetivos.....	17
1.3 Delimitação.....	18
1.4 Metodologia	18
1.5 Estrutura do trabalho	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Modelos de previsão de demanda por transportes	21
2.2 Modelos comportamentais desagregados	22
2.2.1 Modelos de regressão sobre variáveis dicotômicas	24
2.2.2 Técnicas de obtenção de dados	28
2.3 Modelagem de alocação de tráfego	31
2.3.1 Alocação tudo-ou-nada.....	33
2.3.2 Alocação puramente estocástica	33
2.3.3 Alocação segundo princípio de equilíbrio de Wardrop.....	34
2.3.4 Alocação de equilíbrio estocástico.....	34
2.3.5 Limitações dos modelos clássicos de alocação de tráfego	34
2.3.6 Modelos de alocação de tráfego com classes múltiplas de usuários.....	35
2.3.7 O modelo SATURN.....	36
2.4 Estudos da literatura	43
2.4.1 Avaliação de sistemas de cobrança através de modelos de alocação de tráfego.....	44
2.4.2 Avaliação de localizações de cordon pricing e níveis de cobrança	46
2.4.3 Alocação de tráfego com classes múltiplas de usuários (CMU)	47

2.4.4 Estudos de Preferência Declarada para estimar valores monetários de atributos.....	49
2.5 Considerações finais.....	50
3 METODOLOGIA PROPOSTA.....	52
3.1 Definição da região de estudo e das classes de usuários.....	54
3.2 Estimativa dos valores monetários dos atributos através da técnica de Preferência Declarada.....	54
3.2.1 Definição da população alvo e tamanho da amostra.....	54
3.2.2 Seleção dos atributos e seus níveis.....	55
3.2.3 Desenvolvimento do questionário e projeto fatorial.....	55
3.2.4 Realização das entrevistas.....	58
3.2.5 Análise dos dados.....	59
3.2.6 Estimativa do valor monetário dos atributos.....	60
3.3 Estimativa da escolha de rota dos usuários através de modelo de alocação de tráfego	62
3.3.1 Construção da rede viária.....	63
3.3.2 Caracterização da demanda de viagens.....	64
3.3.3 Resultados e análise da distribuição do fluxo de veículos na rede viária.....	64
4 APLICAÇÃO PRÁTICA.....	65
4.1 Definição da região de estudo e das classes de usuários.....	65
4.2 Estimativa dos valores monetários dos atributos através da técnica de Preferência Declarada.....	67
4.2.1 Identificação da população alvo e escolha da amostra.....	67
4.2.2 Seleção dos atributos e seus níveis.....	68
4.3 Execução do experimento.....	71
4.4 Análise de dados das pesquisas de Preferência Declarada.....	72
4.4.1 Resultados das análises da pesquisa de Preferência Declarada para motoristas de caminhão	72
4.4.2 Resultados das análises da pesquisa de Preferência Declarada para motoristas de automóvel.....	74
4.4.3 Obtenção dos valores monetários dos atributos.....	75
4.5 Estimativa de escolha de rota dos usuários através de modelo de alocação de tráfego	78
4.5.1 Construção da rede viária.....	79
4.5.2 Caracterização da demanda de viagens.....	81
4.6 Resultados da modelagem do fluxo de veículos.....	83
4.6.1 Rede simplificada.....	83
4.6.2 Rede detalhada.....	85

4.7 Análise dos resultados da modelagem do fluxo de veículos	86
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E DA PESQUISA COMPLEMENTAR.....	88
5.1 Discussão dos resultados do estudo	88
5.2 Pesquisa complementar	89
5.2.1 Execução e resultados da pesquisa complementar.....	92
5.2.2 Análise dos resultados da pesquisa complementar	93
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	96
REFERÊNCIAS.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Função de distribuição logística	26
Figura 2: Esquema básico da alocação de viagens	32
Figura 3: Curva Fluxo-Velocidade COBA manual.	42
Figura 4: Representação das partes e etapas da Pesquisa de Preferência Declarada.....	56
Figura 5: Auto-estrada no trecho Porto Alegre - Osório.....	66
Figura 6: Rodovia de pista simples no trecho Porto Alegre – Osório	67
Figura 7: Ponto de troca relativo à distância para motoristas de automóvel.....	77
Figura 8: Ponto de troca relativo ao tempo para motoristas de automóvel.....	77
Figura 9: Ponto de troca relativo à distância para motoristas de caminhão	77
Figura 10: Ponto de troca relativo ao tempo para Motoristas de caminhão.....	77
Figura 11: Rede viária simplificada.....	80
Figura 12: Representação da rede viária modelada no SATURN e a localização das praças de pedágio nas vias	81
Figura 13: Distribuição do Fluxo de veículos no período pós-férias.....	83
Figura 14: Distribuição percentual do Fluxo de veículos no período pós-férias.....	84
Figura 15: Distribuição do Fluxo de veículos no período de férias de verão.....	84
Figura 16: Distribuição percentual do Fluxo de veículos no período de férias de verão.....	85
Figura 17: Distribuição percentual do Fluxo de veículos no período pós-férias.....	85
Figura 18: Distribuição percentual do Fluxo de veículos no período de férias de verão.....	86
Figura 19: Modelo de questionário da pesquisa complementar	91
Figura 20: Esquema de análise da pesquisa complementar	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos principais Modelos de Alocação de Tráfego.....	33
Tabela 2: Parâmetros da relação fluxo-velocidade para redes tipo buffer	43
Tabela 3: Projeto fatorial da Etapa 1.....	57
Tabela 4: Projeto fatorial da Etapa 2.....	58
Tabela 5: Tarifas de pedágio praticadas na região de estudo.....	67
Tabela 6: Fatores considerados nas partes e nas etapas da pesquisa	69
Tabela 7: Projeto fatorial da Etapa 1.....	70
Tabela 8: Projeto fatorial da Etapa 2.....	71
Tabela 9: Coeficientes estimados em relação ao custo/km para motoristas de caminhão.....	73
Tabela 10: Coeficientes estimados em relação ao custo/min para motoristas de caminhão....	73
Tabela 11: Coeficientes estimados com relação ao ponto de troca da diferença das distâncias para motoristas de caminhão	73
Tabela 12: Coeficientes estimados com relação ao ponto de troca da diferença dos tempos para motoristas de caminhão	74
Tabela 13: Coeficientes estimados em relação ao custo/km para motoristas de automóvel....	74
Tabela 14: Coeficientes estimados em relação ao custo/min para motoristas de automóvel..	74
Tabela 15: Coeficientes estimados com relação ao ponto de troca da diferença das distâncias para motoristas de automóvel	75
Tabela 16: Coeficientes estimados com relação ao ponto de troca da diferença dos tempos para motoristas de automóvel	75
Tabela 17: Custo/km e Custo/min para a rodovia de pista simples.....	75
Tabela 18: Pontos de troca relativos à diferença de tempo e distância.....	76
Tabela 19: Percentual dos custos da rodovia de pista simples que corresponde à auto-estrada	77
Tabela 20: Custo/km e Custo/min para a auto-estrada	78
Tabela 21: Custo/km e Custo/min para a rodovia de pista simples e a auto-estrada.....	78
Tabela 22: Resultados da pesquisa quanto à utilização da Rodovia de pista simples	92
Tabela 23: Motivos pela utilização da Rodovia de pista simples.....	93
Tabela 24: Motivos pela não utilização da Rodovia de pista simples	93

INTRODUÇÃO

No Brasil, o modal rodoviário é o mais utilizado sendo responsável por 60% da movimentação da produção de bens e por mais de 95% do transporte de passageiros (ANTT, 2005). A malha rodoviária brasileira soma cerca de 1,7 milhões de quilômetros, incluindo as rodovias federais, estaduais e municipais. Desse total, cerca de 170 mil quilômetros são pavimentados, representando um índice de 9,7% do total de rodovias (GEIPOT, 2001).

Em 2006, a CNT (Confederação Nacional dos Transportes), em sua pesquisa anual, avaliou a totalidade da malha rodoviária federal pavimentada, incluindo os principais trechos estaduais, sob gestão pública e concessão privada. A pesquisa compreendeu 84.382 km de rodovias em todo o país e avaliou o estado geral de conservação, considerando as condições do pavimento, sinalização e geometria da via. Os resultados mostraram que 10,8% dos trechos das rodovias obtiveram classificação ótima, 14,2% classificação boa, 38,4% classificação regular, 24,4% classificação ruim e 12,2% classificação péssima. Isto indica que 75,0% da malha rodoviária avaliada apresentam algum tipo de deficiência.

A malha rodoviária brasileira sob concessão atinge atualmente cerca de 10 mil quilômetros (ABCR, 2005). O sistema brasileiro de concessões se caracteriza pela cobrança de taxas fixas pela utilização da rodovia através da implantação de praças de pedágio. As tarifas de pedágio são baseadas no número de eixos de cada veículo e são calculadas com base nos financiamentos necessários para recuperação ou restauração das rodovias sob jurisdição da concessionária (CASTRO, 2000).

Em 2004, 603 milhões de veículos passaram por praças de pedágio, representando cerca de 45% dos veículos que trafegam nas rodovias brasileiras (ABCR, 2004). As praças de pedágio localizam-se preferencialmente em pontos onde o maior número de veículos pagantes possa ser interceptado (MAY et al., 2002a). Desta forma, busca-se garantir os recursos necessários para a manutenção da rodovia com menores tarifas para os usuários.

Os diferentes tipos de veículos que utilizam as rodovias brasileiras pagam tarifas de pedágio distintas e possuem custos operacionais diferenciados de acordo com a qualidade das vias, caracterizando classes específicas de usuários. Cada classe de usuário possui sua própria percepção de custo nas rodovias que pode variar de acordo com o motivo e a frequência das viagens.

1 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO

Os estudos envolvendo modelos de alocação de tráfego podem considerar diferentes fatores que influenciam o processo de escolha de rota dos usuários. Tradicionalmente, os fatores de tempo e distância são os mais utilizados, sendo capazes de explicar de 60 a 80% do comportamento dos usuários (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2001). Contudo, de acordo com as características da região avaliada, fatores complementares podem ser considerados. Em estudos que avaliam redes viárias com sistemas de cobrança de pedágio, por exemplo, fatores como custos monetários devem ser considerados.

No caso da malha rodoviária brasileira, além dos fatores de tempo, distância e valores monetários relativos à cobrança de pedágio, penalidades referentes à baixa qualidade das rodovias podem ser consideradas no processo de escolha de rota dos usuários. Rodovias que possuem melhores condições de trafegabilidade provavelmente proporcionam menores custos de viagem para os motoristas.

A adição de valores monetários nas funções de custo dos modelos de alocação resulta na associação dos parâmetros de valor do tempo e da distância relacionados à real percepção de custo dos motoristas (MILNE, 1997). O Departamento de Transportes do Reino Unido em 1989 forneceu estes valores no *Highway Economics Note* n°2. Estes valores foram utilizados nos estudos de Milne (1997), Santos (2000) e Sumalee et al. (2005) que avaliaram sistemas de pedágio urbano em cidades inglesas.

A estimativa dos parâmetros de valor do tempo e da distância pode ser realizada através da modelagem comportamental desagregada com a técnica de Preferência Declarada (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2001). Esta técnica torna-se adequada, pois permite estimar os valores monetários de atributos através de pesquisas com os usuários em situações reais ou hipotéticas (KROES; SHELDON, 1988).

Os modelos de alocação de tráfego que avaliam sistemas de cobrança de pedágio podem considerar, ainda, classes distintas de usuários (VAN VLIET; HALL, 2004). Estas classes são definidas de acordo com a percepção de custo dos motoristas na escolha de rota e podem variar, por exemplo, de acordo com o tipo de veículo, a frequência e o motivo da viagem. Quando classes múltiplas de usuários são consideradas nos modelos, os parâmetros que refletem a escolha de rota são exclusivos para cada classe considerada.

Desta forma, esta pesquisa avalia o processo de escolha de rota dos motoristas através da modelagem do fluxo de veículos, considerando classes distintas de usuários submetidas a condições de qualidade diferenciadas em rodovias e cobrança de pedágio. Os resultados deste estudo podem subsidiar o planejamento e o gerenciamento mais adequado das estruturas viárias relacionadas à cobrança de pedágios em rodovias.

1.1 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

O transporte rodoviário representa um importante elemento para o desenvolvimento econômico e social brasileiro. A provisão de um planejamento viário adequado pode garantir a infra-estrutura necessária para esse desenvolvimento. Diante disso, os investimentos em ampliação e manutenção tornam-se cada vez mais necessários para garantir a qualidade e a eficiência da malha rodoviária nacional.

Os investimentos públicos no setor de transportes, no período entre 1967 e 1976, representavam 1,6% do PIB brasileiro. No entanto, houve um decréscimo de investimentos para 0,5% do PIB no período de 1980 a 1996. O modelo de financiamento rodoviário, no período posterior, tentou captar recursos complementares na iniciativa privada, através de concessões de rodovias com cobrança de pedágio (CASTRO, 2000). O programa de concessões rodoviárias brasileiro iniciou em 1994 e atualmente cerca de 6% das rodovias brasileiras estão sob administração privada (ABCR, 2005).

Os trechos rodoviários, ainda administrados pelo governo, sofrem com a insuficiência de recursos para a sua manutenção. A tendência, nos próximos anos, é que o número de rodovias concedidas à iniciativa privada aumente, resultando na extensão dos sistemas de cobrança e, conseqüentemente, no número de praças de pedágio instaladas.

A extensão dos sistemas de cobrança gera a oneração do sistema viário, aumentando a resistência dos usuários em assumir os custos do pedágio. Um dos resultados desta resistência é a utilização de rotas concorrentes às rodovias pedagiadas com o objetivo de

evitar a cobrança. Estas rotas são conhecidas como rotas de fuga, ou rotas alternativas, e ocorrem quando o usuário percebe um custo menor nas rotas opcionais em virtude das rodovias pedagiadas não atenderem os seus níveis de satisfação quanto à relação custo/benefício (SANTOS, 2000). A utilização de rotas alternativas diminui a base pagadora nas praças de pedágio, prejudicando a arrecadação das concessionárias e aumentando as tarifas de pedágio para os motoristas.

Para restringir a utilização destas rotas e garantir o bom desempenho de um sistema de cobrança, aspectos como a localização das praças de pedágio e os níveis de cobrança são de importância considerável. As praças de pedágio devem ser localizadas preferencialmente em pontos onde o maior número de veículos possa ser interceptado e os níveis de cobrança devem ser mantidos baixos o suficiente para serem aceitos pelos usuários (MAY et al., 2002a).

Para conciliar todos os interesses dos sistemas de cobrança e torná-los mais eficientes, estudos relacionados à previsão da demanda de viagens com modelos de alocação de tráfego tornam-se indispensáveis. Estes estudos podem avaliar o comportamento dos motoristas, através da sua escolha de rota, frente à implantação de novos sistemas de pedágio, alteração de sistemas existentes ou colocação de pontos de cobrança auxiliar em sistemas já existentes. A identificação prévia do fluxo de veículos na rede viária faz com que os custos da re-alocação dos sistemas de cobrança seja evitado. Além disso, esses estudos tornam-se a base para planejar os sistemas pedágio e garantir a sua viabilidade econômica e social (MASSON et al., 1955).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é avaliar o comportamento do tráfego de veículos em redes viárias para diferentes classes de usuários a partir da sua percepção de custos. Busca-se estimar a influência da cobrança de pedágio e da qualidade das rodovias na escolha de rota dos motoristas.

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em:

a) estimar os valores monetários dos atributos de tempo e distância para diferentes classes de usuários em vias de qualidades distintas;

b) utilizar os valores monetários destes atributos como parâmetros de modelos que estimam o fluxo de veículos em redes viárias e avaliar a escolha de rota dos motoristas frente a vias com cobrança de pedágio e rotas concorrentes de qualidade inferior e sem cobrança;

c) demonstrar a aplicabilidade prática desta modelagem através de um estudo de caso.

1.3 DELIMITAÇÃO

Este estudo limita-se a avaliar a escolha de rota de distintas classes de usuários em redes viárias com rodovias pedagiadas que possuem rotas concorrentes de menor qualidade sem cobrança. Embora a metodologia utilizada possa ser aplicada a outros contextos, os resultados obtidos são restritos ao ambiente e às condições modeladas.

1.4 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho envolveu quatro etapas. A primeira etapa abrangeu a construção de um modelo para avaliar a escolha de rota dos usuários em redes viárias com sistemas de cobrança e vias de qualidades distintas através de conceitos baseados na literatura. A estrutura do modelo considerou classes múltiplas de usuários e suas diferentes percepções de custo nas vias da rede modelada.

A segunda etapa envolveu a definição da região de estudo e das classes de usuários consideradas. A região de estudo foi definida a partir de um trecho viário que possui uma rodovia pedagiada com rota concorrente sem cobrança e de qualidade inferior. As classes de usuários foram definidas de acordo com o tipo de veículo utilizado pelos motoristas, uma vez que estes possuem tarifas de pedágio e custos operacionais distintos.

A terceira etapa correspondeu à estimativa dos valores monetários dos atributos de tempo e distância através da técnica de Preferência Declarada. Estes valores foram estimados para cada classe de usuário com relação à rodovia pedagiada e sua rota concorrente.

A quarta etapa utilizou os valores monetários dos atributos estimados na etapa anterior como parâmetros de um modelo de alocação de tráfego para prever a escolha de rota dos usuários. Essa modelagem, além dos aspectos tradicionais de tempo e distância, aborda a sensibilidade das classes de usuários com relação à qualidade das vias e a cobrança de pedágio.

Desta forma, esta pesquisa pode ser classificada como de natureza aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para a solução de problemas específicos. Do ponto de vista da forma de abordagem do problema pode ser considerada uma pesquisa quantitativa, uma vez que tenta traduzir em números as opiniões e informações dos usuários para que sejam classificadas e analisadas. De acordo com os objetivos, é uma pesquisa explanatória, pois busca proporcionar maior familiaridade com o problema para torná-lo explícito e subsidiar a formulação de hipóteses. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, este trabalho é de levantamento, pois envolve a interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer, e de estudo de caso, na medida em que envolve o estudo de um objeto particular (GIL, 1991).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em seis capítulos. O segundo capítulo compreende a revisão bibliográfica sobre os aspectos conceituais dos modelos comportamentais e a técnica de Preferência Declarada; e os modelos de alocação de tráfego. Destaca-se, ainda, a revisão de estudos da literatura relacionados à aplicabilidade destes modelos.

O terceiro capítulo apresenta as duas etapas de pesquisa desenvolvidas, além da definição da região de estudo e das classes de usuários avaliadas. A primeira etapa consiste na determinação dos valores monetários dos atributos de tempo e distância através da técnica de Preferência Declarada. A segunda etapa utiliza os valores monetários estimados como parâmetros da função de custo generalizado de modelos de alocação de tráfego. Este modelo busca avaliar a escolha de rota de diferentes classes de usuários frente à cobrança de pedágio e vias de qualidades distintas.

O quarto capítulo apresenta o estudo de caso realizado neste trabalho. São expostos os resultados da modelagem de um sistema de cobrança de pedágio atuante, avaliando a escolha de rota dos usuários frente a uma rodovia pedagiada que possui uma rota alternativa concorrente de qualidade inferior, sem cobrança.

O quinto capítulo apresenta a análise dos resultados da modelagem do estudo de caso e propõe um questionário complementar para melhor compreensão destes resultados. A amostra de respondentes do questionário não seguiu nenhum rigor estatístico, buscou-se apenas identificar a escolha de rota dos usuários na região de estudo e os motivos deste comportamento.

O sexto capítulo apresenta as conclusões obtidas a partir do trabalho desenvolvido, esclarecendo as limitações da pesquisa. Ainda, são propostas sugestões para trabalhos futuros que possam dar continuidade ao trabalho desenvolvido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo está dividido em quatro seções. A primeira seção apresenta os conceitos básicos dos principais modelos de previsão de demanda por transportes. A segunda seção aborda as características e formulações dos modelos comportamentais desagregados com destaque para a técnica de Preferência Declarada na estimação de valores monetários de atributos. A terceira seção apresenta os princípios básicos da modelagem de alocação de tráfego para estimar escolha de rota. Esta seção aborda ainda, a consideração de classes múltiplas de usuários nestes modelos e as características do modelo computacional utilizado neste estudo. Os modelos apresentados nestas seções constituem ferramentas importantes para a estimativa da escolha de rota dos usuários frente à influência da cobrança de pedágio e da qualidade das vias.

A quarta seção apresenta os estudos da literatura relacionados à utilização de modelos de alocação de tráfego para avaliar diferentes sistemas de cobrança, localizações e tarifas adequadas para estes sistemas e a consideração de classes múltiplas de usuários na estimativa do tráfego. Apresentam-se, ainda, estudos relativos à utilização da técnica de Preferência Declarada em pesquisas de transportes para estimar valores monetários de atributos.

2.1 MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA POR TRANSPORTES

Um modelo pode ser definido como uma aproximação ou representação simplificada de um sistema de interesse do mundo real. Nesse sistema devem ser considerados os elementos mais relevantes para a situação que se deseja modelar. Assim, a modelagem em transportes tenta prever demandas futuras para representar as características de uma nova realidade (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2001).

A demanda por serviços de transportes é altamente diferenciada, podendo variar de acordo com a hora do dia, dia da semana, tipo de veículo, motivo ou frequência de viagem. Com isso, os modelos de previsão devem considerar os atributos que tornam as demandas diferenciadas, prevendo o comportamento dos usuários da via. Esse comportamento está relacionado com a mudança dos padrões de escolha dos usuários em resposta a mudanças na oferta da rede de transportes.

Os modelos de transportes podem ser classificados em três tipos básicos: modelos convencionais, comportamentais ou atitudinais. Estes modelos podem ser agregados, quando baseados em informações de zonas de tráfego, ou desagregados, quando baseados em informações domiciliares ou de indivíduos (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2001).

Os modelos convencionais são os modelos agregados mais tradicionais utilizados em transporte conhecido como “modelos quatro etapas”. Estes modelos são representados por quatro sub-modelos que podem ou não ser desenvolvidos nesta seqüência: geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de tráfego. Os modelos comportamentais trabalham com fatores motivacionais dos usuários em relação aos atributos (que compõem o nível de serviço) dos sistemas de transporte. Estes modelos tentam identificar o processo de decisão do usuário, contemplando questões não abrangidas pelos modelos convencionais como, por exemplo, se um usuário realizará ou não um determinado deslocamento. Os modelos atitudinais tentam captar as reações dos indivíduos que não são percebidas através dos modelos convencionais e comportamentais. Estes procuram identificar os fatores subjetivos que interferem nas decisões dos usuários (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2001).

2.2 MODELOS COMPORTAMENTAIS DESAGREGADOS

Os modelos comportamentais desagregados se baseiam na observação das escolhas individuais das pessoas através de situações apresentadas pelo pesquisador. A escolha consiste no processo de decidir entre alternativas que formam um conjunto de opções relevantes. A realização dessa análise é feita com base na teoria de utilidade, que diz que os usuários tentam maximizar sua função de utilidade frente às restrições de recursos existentes.

Para Oppenheim (1994), a utilidade oferecida por uma determinada escolha de viagem, também chamada de alternativa, pode ser definida como a medida de preferência que o usuário possui por aquela escolha particular. Esta escolha pode ser medida por um conjunto de fatores como velocidade, conforto, segurança, tempo e tarifas traduzidos em valores

monetários para o viajante. Com isso, a utilidade representa a chave da previsão das escolhas das viagens individuais e, por conseguinte, a determinação de demandas.

A função de utilidade normalmente assume a forma de modelos aditivos compensatórios, já que a escolha de um atributo pode melhorar em detrimento de outro para manter o mesmo nível de utilidade. A configuração mais comum para a utilidade é um modelo linear, como mostra a Equação 1 (KROES; SHELDON, 1988).

$$U_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (1)$$

Onde:

U_i = Utilidade da opção i

x_1, x_2, \dots, x_n = Atributos que influenciam a função de utilidade

a_1, a_2, \dots, a_n = Parâmetros estimados que determinam quanto os atributos influenciam a utilidade.

a_0 = constante específica da alternativa.

O objetivo do modelo é estimar as utilidades parciais a_1, a_2, \dots, a_n que representam a importância de cada um dos atributos considerados na função. A constante a_0 representa uma inclinação a favor ou contra o produto ou serviço que está sendo avaliado. Os coeficientes do modelo podem ser utilizados para:

- a) determinar a importância relativa de atributos incluídos em um experimento;
- b) determinar o valor monetário de atributos, quando tais atributos e custo estiverem incluídos no experimento;
- c) especificar funções de utilidade para modelos de previsão;
- d) criar modelos de demanda desagregados para alternativas ainda não existentes.

Na teoria da utilidade, as variáveis dependentes podem ser quantificadas em uma escala bem definida ou por variáveis de natureza essencialmente qualitativa dependendo do objetivo do experimento.

2.2.1 Modelos de regressão sobre variáveis dicotômicas

Os modelos de regressão de variáveis dicotômicas são aqueles em que a variável dependente possui natureza qualitativa e pode assumir valor 0 ou 1, onde 0 indica a ausência de um atributo e 1 indica a presença desse atributo (GUJARATI, 2000). Exemplos de variáveis binárias é a escolha de um automóvel (nacional ou importado), a escolha de uma rodovia (pedagiada ou não pedagiada) ou o diagnóstico de um câncer (presente ou ausente). Dentre os métodos mais utilizados para estimar tais modelos, destacam-se três: MPL, Logit e Probit que são detalhados abaixo.

2.2.1.1 Modelo de probabilidade linear (MPL)

O modelo de regressão para respostas binárias é chamado de modelo de probabilidade linear (AGRESTI, 1996). Considera-se o modelo de regressão linear simples representado na Equação 2:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$Y_i = 0 \text{ ou } 1$$

A resposta esperada é dada na Equação 3:

$$E(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad (3)$$

Considerando-se a variável Y_i aleatória e com distribuição de probabilidade de Bernoulli tem-se a Equação 4:

$$Y_i = 1 - P(Y_i = 1) = \pi_i \quad (4)$$

$$Y_i = 0 - P(Y_i = 0) = 1 - \pi_i$$

Pela definição do valor esperado de Y_i tem-se a Equação 5:

$$E(Y_i) = \pi_i \quad (5)$$

Igualando-se (1) e (2), obtém-se a Equação 6:

$$E(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i = \pi_i \quad (6)$$

Quando a variável dependente assume o valor médio ($Y_i = 0,5$), a probabilidade de escolha (π) para qualquer um dos níveis da variável binária (0 ou 1) seria igual. Assim, o valor de X_i que resulta no valor médio da variável dependente representa o ponto de troca para um dos níveis.

O MPL, dentre os modelos de estimação para variáveis binárias, é o modelo mais simples, contudo apresenta diversas limitações, sendo as principais relacionadas à não normalidade do termo de erro, heterocedasticidade e a possibilidade da probabilidade estimada ficar fora do limite [0;1]. Contudo, ainda que estes problemas possam ser resolvidos ou atenuados, o MPL não é um modelo atraente, pois supõe que as probabilidades condicionais aumentam linearmente com os valores das variáveis explicativas. As probabilidades tenderão a diminuir enquanto os valores das variáveis explicativas aumentam ou diminuem indefinidamente (GUJARATI, 2000).

Os modelos de probabilidade alternativos ao MPL devem apresentar duas características básicas: conforme X_i aumenta, $E(Y)$ também aumenta, mas nunca sai do intervalo 0-1; e a relação entre $E(Y)$ e X_i é não linear, ou seja, aproxima-se de 0 mais lentamente conforme X_i fica menor e aproxima-se de 1 mais lentamente conforme X_i fica maior.

Geometricamente, o modelo desejado tem o aspecto de um S, conforme a Figura 1. Nesse modelo, a probabilidade se encontra entre 0 e 1 e não varia linearmente com X.

Por razões históricas e práticas as funções de distribuição geralmente escolhidas para representar os modelos de resposta 0-1 são: a logística e a normal. A primeira dá origem ao modelo Logit e a segunda ao modelo Probit. Tanto o modelo Logit quanto o modelo Probit asseguram que as probabilidades estimadas se situem no limite 0-1 e que elas se não relacionem linearmente com as variáveis explicativas (GUJARATI, 2000).

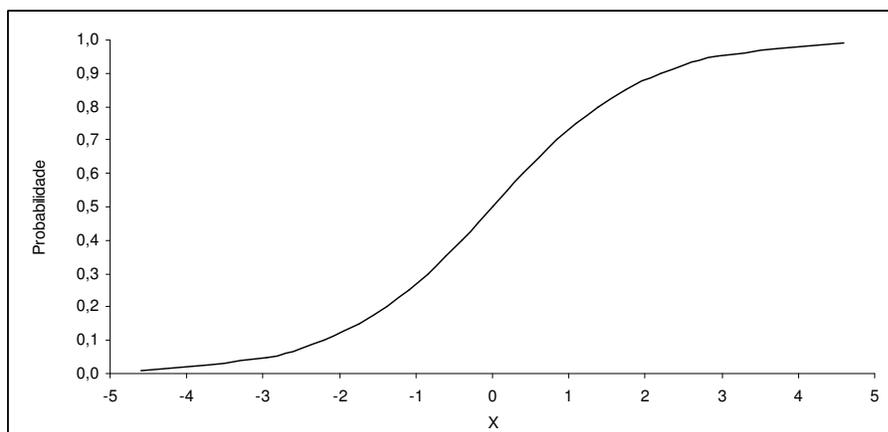


Figura 1: Função de distribuição logística

2.2.1.2 O modelo Logit

O modelo Logit é o modelo de escolha discreta mais simples e popular em pesquisas de transporte. Na sua abordagem o comportamento de escolha dos usuários ou compradores de bens e serviços é modelado através da identificação de suas funções de utilidade (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2001).

A função de distribuição logística que origina o modelo Logit pode ser representada pela Equação 7:

$$E(Y_i) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X_i)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_i)} \quad (7)$$

Uma propriedade interessante da função logística é que ela pode ser linearizada. Denota-se $E(Y)$ (valor esperado de Y) por π (probabilidade). A transformação logit da probabilidade π é representada na Equação 8:

$$L_i = \ln\left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad (8)$$

A razão $\pi/(1 - \pi)$ é chamada de *odds* (chance).

Enquanto o MPL supõe que π_i se relaciona linearmente com X_i , o modelo Logit supõe que o logaritmo da razão de probabilidade L_i seja linear com X_i .

A estimativa dos parâmetros β_0 e β_1 não pode ser feita pelos mínimos quadrados, pois gera equações sem sentido. Com isso, o método da máxima verossimilhança pode ser utilizado como uma alternativa de estimação (GUJARATI, 2000). As equações do método da máxima verossimilhança podem ser encontradas de forma detalhada em Agresti (1996) e Gujarati (2000).

Após a obtenção dos parâmetros do modelo pode-se determinar se as variáveis independentes do modelo são significativas quando comparadas com as variáveis estimadas através de testes estatísticos de hipóteses. Os testes mais utilizados no contexto de regressões lineares e que possuem distribuições de probabilidade relacionadas com a normal são os testes F, t e de qui-quadrado. Contudo, para outros tipos de regressão, como a logística, os testes da razão de verossimilhança, de Wald e Multiplicador de Lagrange podem cumprir este propósito. Estes testes possuem respostas idênticas, portanto a escolha do teste depende da conveniência em termos de cálculos (GUJARATI, 2000).

2.2.1.3 O modelo Probit

Uma função de resposta curvilínea com forma semelhante à função logística é obtida transformando π por meio da distribuição normal acumulada. Esta transformação é chamada de transformação probit. O modelo de regressão probit é menos flexível do que a regressão logística, pois não pode ser diretamente aplicada com mais de uma variável preditora.

Além disso, este modelo é ligeiramente mais complicado do que o modelo Logit, pois é preciso inverter a função de distribuição normal, o que pode provocar erros de aproximação (GUJARATI, 2000). Entre as vantagens do modelo é possível destacar a sua flexibilidade de especificação, uma vez que o modelo Probit admite a parametrização completa em termos da matriz de covariância e, portanto, pode capturar as diferenças nas utilidades. Mais detalhes sobre o modelo pode ser encontrado em Ortúzar e Willumsen (2001) e Gujarati (2000).

As formulações dos modelos Logit e Probit são bem comparáveis, sendo que a principal diferença está no fato de a função logística possui caudas ligeiramente mais achatadas, ou seja, a curva normal se aproxima mais rapidamente dos limites 0-1 que a logística. Portanto, a escolha entre os modelos é uma questão de conveniência (matemática) e de disponibilidade de programas de computador. Neste aspecto, o modelo Logit é em geral preferido ao Probit (GUJARATI, 2000).

2.2.2 Técnicas de obtenção de dados

Os dados necessários para a utilização de modelos, como o Logit, podem ser obtidos através de pesquisas com técnicas de preferência revelada ou de preferência declarada. Historicamente, as técnicas de Preferência Revelada são anteriores às técnicas de Preferência Declarada. Tradicionalmente, a modelagem da demanda de transportes era baseada em informações sobre escolhas e decisões observadas, ou seja, dados de pesquisas de Preferência Revelada. Devido à dificuldade de previsão de cenários não disponíveis no presente ou muito diferentes de todos os existentes, os métodos de Preferência Declarada começaram a ser utilizados (ORTÚZAR, WILLUMSEN, 2001).

Os métodos de preferência, tanto a revelada quanto a declarada, possuem suas vantagens e limitações. O melhor método a ser utilizado em cada estudo, levadas as considerações e particularidades de cada caso, depende dos objetivos e das características do estudo (WARDMAN, 1988). Além disso, em alguns casos estes métodos podem ser utilizados de maneira combinada, complementando os resultados da pesquisa (ORTÚZAR, WILLUMSEN, 2001).

2.2.2.1 Técnicas de Preferência Revelada

A técnica de Preferência Revelada é a mais tradicional e se caracteriza por obter informações sobre o comportamento real dos entrevistados. Os dados expressam uma observação direta ou questionamentos efetivos pressupondo a existência de informações prévias sobre o objeto de estudo.

Os questionários das pesquisas de Preferência Revelada são compostos de perguntas referentes a decisões tomadas com relação a uma situação real já vivenciada. Com isso, os entrevistados revelam as alternativas ou escolhas realizadas no seu dia-a-dia. Porém, uma das limitações dos métodos de PR é que esses requerem que as variáveis independentes sejam expressas quantitativamente, o que dificulta a possibilidade de considerar os efeitos de atributos mais subjetivos como qualidade e conveniência. Outra limitação da técnica de PR é que essa não pode ser utilizada de forma direta na modelagem da demanda de alternativas que ainda não existam. Isso limita a avaliação de impactos de projetos que contemplem a introdução de novas alternativas em transporte (KROES; SHELDON, 1988).

2.2.2.2 Técnicas de Preferência Declarada (PD)

As técnicas de PD pertencem ao campo dos modelos comportamentais desagregados ao nível do indivíduo, e são chamados de modelos de escolha discreta. Essas técnicas foram desenvolvidas, inicialmente, em pesquisas de marketing no início dos anos 70 com o objetivo de aprimorar os conhecimentos sobre o comportamento dos consumidores. Na área de transportes estes métodos receberam maior atenção no Reino Unido, a partir da década de 80. Alguns exemplos de aplicações nesta área podem ser relacionados a escolhas de um modo de transporte, definição de rotas de viagem, influência dos fatores tempo, conforto e custo em uma viagem e a influência do valor da tarifa na utilização de rodovias pedagiadas (KROES; SHELDON, 1988).

Segundo Kroes e Sheldon (1988), as opções hipotéticas das pesquisas de Preferência Declarada podem ser descritas de situações reais ou contextos construídos pelo pesquisador. Assim, o sucesso das pesquisas está diretamente relacionado com a qualidade do questionário e com a condução adequada das entrevistas. Para desenvolver um estudo de Preferência Declarada, várias etapas devem ser consideradas como a forma e complexidade do experimento, a definição da amostra, a realização das entrevistas, a medição da preferência e a análise dos dados.

Decisões sobre os atributos e os níveis que estes estarão distribuídos definem a forma e complexidade do experimento. O pesquisador deve considerar os atributos que melhor representam o problema em questão, refletindo a escolha do usuário. Além disso, deve-se considerar o maior número possível de níveis, que permita distinguir até quando os indivíduos estariam dispostos a trocar uma opção pela outra. Contudo, deve-se limitar o número de atributos e níveis, pois quanto mais atributos e níveis de escolha, mais complexa será toda a pesquisa (FOWKES; WARDMAN, 1988).

A definição da amostra em nível qualitativo define o tipo de entrevistado, de atributos e quais alternativas serão oferecidas. Em termos quantitativos, o tamanho da amostra, geralmente, é menor que a utilizada nas pesquisas tradicionais de transportes uma vez que cada respondente prove múltiplas observações para variações nas variáveis explanatórias exploratórias (BRADLEY, 1988).

A realização de entrevistas corresponde à aplicação dos questionários, onde existem várias combinações de custo e eficácia, desde entrevistas diretas em domicílios, locais de trabalho ou nos veículos até a utilização do correio, internet e telefone para a distribuição e

recebimento das perguntas. Os cuidados com a clareza, a extensão dos questionários e o momento de aplicá-los devem ser considerados e dependem, basicamente, do público alvo e do contexto da entrevista. Dependendo do problema em questão, a segmentação dos questionários por renda, modo de transporte ou tempo de viagem pode ajudar a obter respostas mais precisas e realistas.

A medição da preferência pode ser realizada de três formas: ordenação, classificação e escolha direta. Os indivíduos podem informar suas preferências com relação às alternativas colocando-as em ordem de preferência (ranking), submetendo-as a uma escala de avaliação (*rating*) ou escolhendo a opção preferida em um conjunto de alternativas (*choice*) (BATES, 1988).

A análise de dados possui dois procedimentos comumente utilizados para estimação dos parâmetros. Em modelos linearizados, procede-se uma análise de regressão múltipla, utilizando atributos de serviço e variáveis sócio-econômicas como variáveis independentes, para estimar as funções de utilidade para cada entrevistado (ou grupo de entrevistados). O outro procedimento é a utilização de modelos que requerem funções logarítmicas do tipo Logit (GUJARATI, 2000).

Os métodos de PD apresentam algumas vantagens com relação aos métodos de PR, como: a facilidade de controle (o pesquisador define as condições avaliadas por cada respondente), a flexibilidade (são capazes de abranger um grande número de variáveis) e a economia de recursos (cada respondente provê múltiplas observações para variações nas variáveis explanatórias) (KROES; SHELDON, 1988).

A principal desvantagem do método de PD é que as preferências dos indivíduos podem não corresponder as suas preferências reais, ou seja, as pessoas não necessariamente fazem o que dizem. Isso pode ocorrer devido à tendência sistemática nas respostas ou pela dificuldade de entendimento dos entrevistados em situações hipotéticas gerando dúvidas em suas respostas (WARDMAN, 1988).

2.3 MODELAGEM DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

Os modelos de alocação de tráfego são utilizados em planejamento e gerenciamento de transportes para estimar o impacto no tráfego decorrente de modificações na rede viária ou na demanda de viagens. Com isso, torna-se possível estimar as conseqüências das decisões e quantificar o padrão de comportamento do tráfego. Esses modelos objetivam reproduzir o processo de escolha de rota dos indivíduos ao longo da rede viária (CYBIS et al., 2002; JORGE, 1999).

O nível de agregação com que o tráfego é representado constitui uma importante propriedade dos modelos. Modelos macroscópicos reproduzem o tráfego de maneira agregada, enquanto que os modelos microscópicos avaliam explicitamente as interações veículo a veículo. A modelagem mesoscópica compõe um nível intermediário de detalhamento. A modelagem tradicional de alocação de tráfego faz uso da abordagem macroscópica que utiliza hipóteses simplificadas conduzindo a previsões de fluxos satisfatórias.

O sistema de transportes é caracterizado por interações entre oferta e demanda. A oferta é representada pela rede viária que é composta por arcos (segmentos de via), nós (interseções) e seus respectivos custos. A rede viária é constituída pelas características topológicas e operacionais da região de estudo. Os custos são determinados em função do número de atributos associados aos arcos, como distância, velocidade de fluxo livre, capacidade, relação fluxo-velocidade, taxas cobradas e conforto da via.

A demanda é representada pelo número de viagens entre pares origem-destino (O-D) originados de zonas de tráfego. Estas zonas são identificadas por regiões com características homogêneas ou por divisões geográficas naturais. As informações sobre as viagens são dispostas em uma matriz origem-destino que quantifica os volumes de viagens entre as diversas zonas de tráfego em um dado período de tempo.

A alocação de tráfego pode ser definida como a distribuição do fluxo de veículos ao longo da rede viária, representada pela oferta do sistema viário e pela demanda dos veículos. Os padrões de fluxo resultantes podem afetar as escolhas de modo, destino, rotas e horário do dia para viajar. Os modelos de alocação de tráfego podem ser associados com cenários atuais e de planejamento futuro. A estrutura básica destes modelos é representada na Figura 2. Os principais dados de entrada para a realização de uma alocação de tráfego são: a matriz de viagens representando a demanda por viagens entre as zonas de tráfego e a rede viária

codificada representando a oferta onde as viagens serão alocadas (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2001).

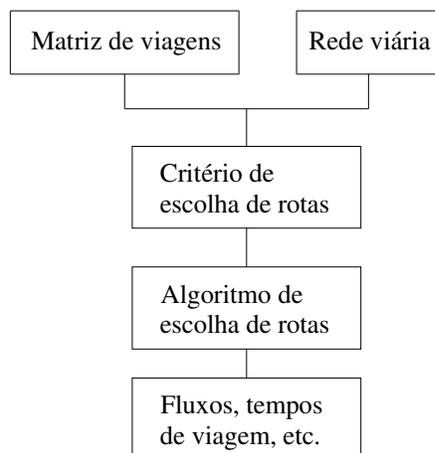


Figura 2: Esquema básico da alocação de viagens

Para Ortúzar e Willumsen (2001), a premissa básica da alocação de tráfego é quando os usuários realizam seus deslocamentos, estes escolhem as rotas que oferecem o menor custo individual percebido. Contudo, na prática, nem todos os usuários que realizam uma mesma viagem escolhem o mesmo caminho entre um par origem-destino. Os fatores que influenciam essa decisão referem-se, principalmente, ao fato de que:

a) os usuários possuem diferentes percepções sobre o que constitui a melhor rota (efeito estocástico);

b) o congestionamento e as restrições de capacidade limitam o número de viagens dentro de uma mesma rota (restrição de capacidade).

O primeiro fator está relacionado aos modelos estocásticos, enquanto o segundo aos modelos de equilíbrio. A Tabela 1 mostra as quatro diferentes categorias de modelos que podem ser utilizados, de acordo com as circunstâncias.

Tabela 1: Classificação dos principais Modelos de Alocação de Tráfego

		Efeitos estocásticos	
		Não	Sim
Restrição de capacidade	Não	Alocação tudo-ou-nada	Estocástico puro
	Sim	Equilíbrio de Wardrop	Equilíbrio estocástico

Fonte: Adaptação de Ortúzar e Willumsen (2001).

2.3.1 Alocação tudo-ou-nada

A alocação tudo-ou-nada é o método de alocação de tráfego mais simples dentre os existentes. Esse método assume que não existem efeitos de congestionamento, que todos os motoristas consideram os mesmos atributos para a escolha de rota e que eles os percebem e os pesam da mesma maneira. Dessa forma, admite-se que o custo nos arcos é fixo e que o caminho mínimo entre um par de zonas não é afetado pelo fluxo de atração de viagens. Estas suposições são razoáveis em redes esparsas e descongestionadas como no caso de redes rurais menos densas, tornando a possibilidade de caminhos alternativos mais restrita (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2001).

2.3.2 Alocação puramente estocástica

A alocação puramente estocástica é recomendada quando se percebe uma significativa variação na percepção dos usuários quanto ao custo das rotas alternativas. Os custos independentes dos usuários ocorrem, em geral, em rotas de baixo fluxo. Com isso, o modelo estocástico puro visa distribuir as viagens de cada par origem-destino entre as rotas distintas disponíveis aos usuários. Como vantagens, destacam-se a simplicidade na programação e uma razoável representação da variabilidade das viagens. Em relação às desvantagens, cita-se que na prática os custos percebidos não são independentes, pois os usuários normalmente têm preferências por determinados arcos, além dos congestionamentos não serem considerados (VAN VLIET; DOW, 1979).

2.3.3 Alocação segundo princípio de equilíbrio de Wardrop

A alocação baseada no equilíbrio do usuário possui uma técnica de solução baseada em um processo iterativo que procura alcançar uma solução convergente, na qual nenhum usuário pode melhorar seu tempo de viagem trocando de rotas. Assim, esse usuário ignora os efeitos estocásticos e se concentra na restrição de capacidade como um gerador de uma expansão de viagens em uma rede (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2001).

Esses modelos normalmente tentam, com diferentes graus de sucesso, aproximar condições de equilíbrio, como foi formalmente enunciado por Wardrop (1952). O princípio de Wardrop enuncia que os custos são percebidos da mesma maneira pelos viajantes sob condições de equilíbrio de tráfego em uma rede congestionada, sendo que todas as rotas usadas entre um par O-D tem custos iguais e mínimos, enquanto as rotas não utilizadas possuem custos iguais ou superiores (VAN VLIET; HALL, 2004).

2.3.4 Alocação de equilíbrio estocástico

A alocação de equilíbrio estocástico assume a variabilidade na percepção de custo dos motoristas. Ou seja, cada usuário escolhe uma rota de custo mínimo, mas estas são diferenciadas através do conhecimento e da percepção de custo nas vias da rede, dadas às alternativas de rotas entre um mesmo par origem-destino (VAN VLIET; DOW, 1979).

Uma diferença importante entre o equilíbrio de Wardrop e o equilíbrio estocástico é que o primeiro assume que todos os usuários percebem o custo de viagem da mesma maneira enquanto o segundo permite que usuários diferentes tenham percepções diferentes dos custos de viagem. Em redes congestionadas é mais seguro ignorar os efeitos estocásticos e utilizar os modelos de equilíbrio uma vez que as diferenças entre os dois modelos são muito pequenas em redes com alto fluxo de veículos. Contudo, para níveis intermediários de congestionamento os modelos estocásticos tornam-se mais adequados uma vez que os efeitos do congestionamento não são suficientes para causar uma distribuição realística dos veículos entre rotas competitivas (VAN VLIET; HALL, 2004).

2.3.5 Limitações dos modelos clássicos de alocação de tráfego

Uma limitação dos modelos tradicionais de alocação de tráfego é a consideração de que os usuários percebem os custos da mesma forma. Os métodos estocásticos tentam

representar a diversidade na percepção de custo dos usuários, mas possuem certas limitações. Estes métodos reproduzem esta variabilidade de forma agregada, através de variação estocástica permitida nos modelos (ROSA; MAHER, 2002).

Na literatura, existem duas alternativas para refinar estes modelos: a inclusão de múltiplas classes de usuários e a consideração de demanda elástica. A introdução de classes múltiplas de usuários corresponde à divisão de uma população heterogênea de motoristas em grupos que apresentam características homogêneas. Este refinamento permite avaliar as diferentes percepções dos motoristas com relação aos custos da rede como, por exemplo, o valor do tempo ou a disposição quanto ao pagamento de pedágio. Além disso, podem-se considerar limitações ou exclusividade de circulação de tipos específicos de veículos nas vias da rede.

Os modelos de demanda elástica assumem, de forma agregada, a resposta dos motoristas a mudanças nos custos da rede, mas não com relação à re-alocação das viagens. Nestes modelos, a matriz de viagens entre cada par origem-destino não é fixa e varia com as condições da rede. O ponto de equilíbrio é obtido através da consistência entre a escolha de rota, os custos da rede e a matriz origem-destino (ROSA; MAHER, 2002). Os modelos de alocação de tráfego que consideram classes múltiplas de usuários, por serem foco deste estudo, são detalhados a seguir.

2.3.6 Modelos de alocação de tráfego com classes múltiplas de usuários

Os modelos de alocação de tráfego que utilizam classes múltiplas de usuários são caracterizados por considerar duas ou mais classes de motoristas com comportamentos ou características de escolha de rota diferentes na rede viária. Esses modelos permitem não somente uma modelagem mais realista da escolha de rota e das iterações entre os motoristas como também produz alocações com maior precisão. Essas estimativas subsidiam melhores decisões conciliando investimentos em infra-estrutura de transportes e medidas de gerenciamento de tráfego (BOYCE, 2004).

As classes de usuários podem ser definidas de acordo com o tipo de veículo ou características e preferências dos motoristas. Um exemplo típico é a diferença entre motoristas de carro e de caminhão. Um motorista de caminhão normalmente dirige mais devagar, ocupa mais espaço na via, pode ter faixas dedicadas ao seu uso, paga uma tarifa maior de pedágio e, provavelmente, possui um valor de tempo mais elevado do que o automóvel. Além disso,

quanto mais pesados os veículos, maiores são os custos operacionais em vias de baixa qualidade (BLIEMER et al., 2004).

O valor do tempo é um conceito importante na modelagem de transportes. Segundo Yang et al. (2002) cada usuário atribui um valor diferente para o tempo, que está relacionado à sua disponibilidade em gastar recursos em uma viagem particular. De acordo com o valor do tempo atribuído a cada indivíduo, a população pode ser segmentada em classes e suas taxas de viagem podem ser caracterizadas por funções de demanda distintas para cada grupo específico.

Sendo assim, torna-se significativo relacionar o valor do tempo na modelagem de rodovias pedagiadas (YANG et al., 2002). Nos esquemas de cobrança de pedágio, alguns usuários estão dispostos a utilizar rotas mais lentas e de menor qualidade para evitar pedágios enquanto outros estão mais dispostos a utilizar rodovias pedagiadas para economizar tempo. O valor do tempo para cada usuário está relacionado basicamente ao nível de renda, ao motivo e a frequência da suas viagens.

Segundo Van Vliet e Hall (2004), a maioria dos estudos, abrangendo sistemas de cobrança viária, realizados nos modelos de alocação de tráfego, considera classes múltiplas de usuários. Esta consideração torna-se preponderante, pois todos os sistemas de cobrança proporcionam impactos distintos entre os motoristas.

2.3.7 Modelos computacionais de Alocação de Tráfego

Os modelos computacionais de alocação de tráfego prevêm a escolha de rota, os fluxos de tráfego e os atrasos em uma rede viária utilizando como dados de entrada informações sobre o padrão de demanda das viagens e uma descrição da rede viária. Essa previsão é baseada no custo generalizado, considerando informações sobre os custos de viagem nos arcos. Estes modelos podem calcular indicadores de desempenho do tráfego como tempos de viagem, velocidades médias, fluxos nas vias, medidas de saturação (relação volume/capacidade), tempos mínimos de viagem entre dois pontos, atrasos nas interseções, quantificação de filas, custos generalizados de viagens, rotas entre pares O-D, consumo total de combustível na rede e emissão total de poluentes. Estes indicadores permitem caracterizar o desempenho operacional do tráfego nos cenários modelados subsidiando a elaboração e o aperfeiçoamento de soluções (CYBIS et al., 2002). Um exemplo de modelo computacional de

alocação de tráfego é o SATURN, utilizado neste estudo, cujas características são apresentadas a seguir.

2.3.7.1 O modelo SATURN

O SATURN (*Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks*) foi desenvolvido pelo *Institute for Transport Studies* na Universidade de Leeds, Inglaterra no início dos anos 80 e é utilizado extensivamente por técnicos no mundo todo como uma ferramenta de planejamento de transportes (MAY; MILNE, 2000; MILNE, 1997).

De acordo com Van Vliet e Hall (2004), no modelo SATURN, as rotas podem ser escolhidas a partir dos quatro princípios de alocação: alocação tudo-ou-nada, puramente estocástica (com custos fixos), equilíbrio de Wardrop e equilíbrio estocástico. Contudo, os autores enfatizam que os dois primeiros métodos são raramente utilizados, pois são aplicáveis a redes viárias pouco carregadas, ou seja, redes com nível baixo de congestionamento. Estas condições ocorrem na realidade, mas são menos prováveis de serem encontradas em problemas envolvendo a modelagem de redes viárias. Sendo assim, se torna essencial, com o aumento do congestionamento, considerar os efeitos da restrição de capacidade sobre a escolha de rota. Assim, a escolha real de rotas resume-se a escolher entre o equilíbrio de Wardrop ou o equilíbrio estocástico.

O modelo SATURN contém dois módulos distintos, um de simulação e outro de alocação. O primeiro sub-modelo representa as iterações entre todos os veículos que entram em uma interseção baseados em características de fluxo de tráfego e aceitação de brechas. Já o sub-modelo de alocação estima a escolha de rota dos indivíduos na rede viária modelada. Os dois sub-modelos podem ser independentes ou operar iterativamente até que níveis satisfatórios de estabilidade e de convergência sejam atingidos (MAY; MILNE, 2000).

A modelagem de redes no SATURN pode ser tratada de duas formas distintas: rede buffer e rede de simulação. As redes tipo buffer possuem dados somente dos arcos e estimam os tempos de deslocamento através de relações fluxo-velocidade. São mais adequadas quando é necessário incluir zonas fora da área de estudo pela sua relevância na matriz de viagem ou para representar análises de redes rurais ou interurbanas onde a modelagem não exige muitos detalhes. As redes de simulação possuem dados das interseções e dos arcos, e os atrasos são explicados pelo fluxo nas interseções. Sua utilização é adequada para locais onde ocorrem congestionamentos consideráveis, normalmente em áreas urbanas (SANTOS, 2000).

Para a modelagem de redes tipo buffer, os dados requeridos pelo SATURN consistem de informações baseadas somente nas vias da rede sem nenhuma informação sobre as interseções. Mais especificamente para cada via da rede é necessário: comprimento (em metros), capacidade (em Unidades de Veículo Padrão/h – UVP/h), tempo de viagem (em segundos) ou a velocidade (em km/h) em condições de fluxo livre, tempo de viagem (em segundos) ou a velocidade (em km/h) na capacidade, um fator “*n*” correspondente às curvas de fluxo-velocidade.

Para a modelagem das redes de simulação, os dados exigidos pelo modelo são: comprimento e sentido de circulação de cada arco, velocidade média de percurso efetivo no arco, número de faixas da cada aproximação da interseção, conversões facultadas e proibidas em cada faixa, fluxos de saturação das conversões permitidas, programação semafórica, a natureza dos conflitos entre correntes de tráfego concorrentes.

O custo de viagem é representado por custos generalizados e é usualmente baseado em uma combinação com pesos de tempo e distância. O tráfego é expresso como a média dos fluxos de Unidades de Veículo Padrão (UVPs) ao invés da representação de veículos individuais. A contribuição do tempo de viagem para o custo generalizado é calculada com base nas relações de fluxo-velocidade nas quais são associadas com cada arco da rede modelada representando o grau de redução para a velocidade média de viagem com relação ao aumento do volume de tráfego nos arcos (MILNE, 1997).

2.3.7 Função de custo generalizado

As técnicas de distribuição do fluxo de veículos na rede viária dos modelos de alocação de tráfego assumem que os motoristas procuram minimizar seu custo de viagem. O custo de viagem pode ser definido, basicamente, de três diferentes formas considerando:

- a) tempo de viagem puro;
- b) distância pura;
- c) custo generalizado que é uma combinação de tempo, distância e cobranças monetárias (exemplo: pedágios)

Um exemplo de função de custo generalizado empregada no modelo SATURN é apresentada na Equação 9 (VAN VLIET; HALL, 2004):

$$C = PPM \cdot T + PPK \cdot D + M \quad (9)$$

Onde C é o custo em unidades de centavos,

T é o tempo em unidade de minutos,

D é a distância em quilômetros,

M é a cobrança monetária em centavos,

PPM “pence per minute”, valor monetário por minuto,

PPK “pence per kilometre”, valor monetário por quilômetro.

O custo que o usuário está disposto a pagar pela utilização dos arcos da rede viária é especificado pelos parâmetros PPM e PPK explicitados em unidades de “minuto” e “quilômetro”. O custo da distância reflete o custo financeiro físico de viajar, ou seja, as restrições percebidas pelos motoristas.

Quando a função de custo generalizado é utilizada no modelo SATURN, considera-se a função de custo em termos de tempo generalizado, ou seja, os fatores correspondentes a distância de viagem e/ou cobranças monetárias nos arcos são adicionados na equação em unidades proporcionais ao tempo de viagem. O custo total em termos de tempo generalizado é apresentado na Equação 10 (VAN VLIET; HALL, 2004).

$$C_t = T + D \cdot \left(\frac{PPK}{PPM} \right) + \frac{M}{PPM} \quad (10)$$

Com isso, as análises estatísticas da alocação no modelo SATURN são expressas em unidades de tempo. Em estudos envolvendo redes em modelos de alocação, os parâmetros PPM e PPK são definidos não como valores reais, mas como uma relação. Por exemplo, pode-se utilizar um valor do tempo de 1.0 e um valor de distância de 0.5, que correspondem a valores muito menores que os observados em situações reais. Contudo, este fato não é relevante, pois estes valores representam apenas elasticidades de comportamento para modelos de escolha de rota e não possuem nenhuma utilidade em análises econômicas. O importante é a relação entre os dois valores (MILNE, 1997).

Contudo, estudos relacionados a sistemas de pedágios possuem uma componente de custo onde os valores absolutos dos parâmetros PPM e PPK são importantes. Com isso,

valores monetários reais dos atributos de tempo e distância devem ser utilizados. Estes valores refletem parâmetros econômicos relacionados aos veículos para propósitos de avaliações e modelagem. É importante que os valores de *PPM* e *PPK* sejam considerados cuidadosamente, uma vez que os impactos na alocação são bastante sensíveis a estes parâmetros (MILNE, 1997).

As definições de custos generalizados, quando se utilizam classes múltiplas de usuários, devem ser diferenciadas para cada classe, tanto nos parâmetros *PPM* e *PPK* quanto em penalidades monetárias e restrições nas vias da rede. As penalidades monetárias podem corresponder, além de cobranças de pedágio, a impedâncias referentes a características que tornem as vias menos atrativas como, por exemplo, a sua qualidade.

2.3.8 Relação de fluxo-velocidade ou fluxo-custo

A relação fluxo-velocidade é usualmente representada através da seguinte relação: conforme o fluxo aumenta a velocidade tende a diminuir após um período inicial com pequenas mudanças; quando o fluxo se aproxima da capacidade a taxa de redução na velocidade aumenta. A partir deste ponto, tentativas de aumentar o fluxo resultam em um escoamento instável caracterizado por baixos fluxos e velocidades (ORTÚZAR; WILLUMNSEN, 2001).

Van Vliet e Hall (2004) ilustram dois métodos que podem ser utilizados no modelo SATURN para descrever as relações de fluxo-velocidade em redes viárias de estudos estratégicos:

a) UK *Department of Transport* (DTp). O Departamento de Transportes do Reino Unido propõe relações de fluxo-velocidade para uma variedade de tipos de arcos em vias urbanas, suburbanas e rurais. Cada uma das relações traduz-se por uma ou mais expressões onde são consideradas as principais características da via e do ambiente, como a inclinação, largura ou a frequência de intersecções. O DTp recomenda que as curvas tenham a forma das Equações 11, 12, 13 e 14.

$$t(V) = \frac{d}{S(V)} \quad (11)$$

$$S_0 \quad V < F \quad (12)$$

$$S(V) \quad S_1 + (S_1 - S_0) \cdot \frac{(V - F)}{(C - F)} \quad F < V \leq C \quad (13)$$

$$\frac{S_1}{[1 + S_1 \cdot (V - C) / 8dC]} \quad V < C \quad (14)$$

Onde:

S_0 = velocidade de fluxo livre

S_1 = velocidade na capacidade

V = fluxo no arco

F = fluxo máximo onde prevalecem as condições de fluxo livre

C = capacidade

d = distância ou comprimento do arco em km

b) UK *Department of Transport* - COBA manual. A forma das curvas de fluxo-velocidade, especificadas nas Equações 11 a 14, que possui um segmento plano seguido de um segmento linear inclinado, tem sido substituída por curvas com dois segmentos lineares inclinados. A Figura 3 ilustra a nova forma das curvas considerando-se o fluxo menor que a capacidade.

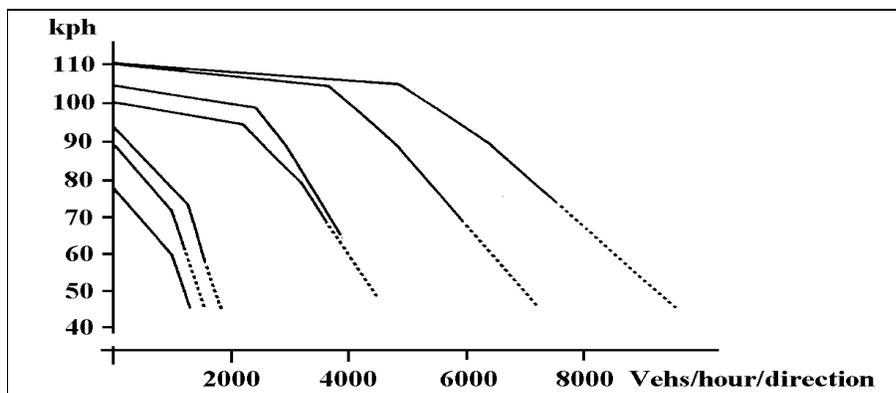


Figura 3: Curva Fluxo-Velocidade COBA manual

Fonte: Van Vliet; Hall (2004).

As equações 15, 16 e 17 a seguir descrevem a relação:

$$S_0 + \frac{(S_1 - S_0)}{(V/F)} \quad V < F \quad (15)$$

$$S(V) \quad S_1 + (S_2 - S_1) \cdot \frac{(V - F)}{(C - F)} \quad F < V \leq C \quad (16)$$

$$\frac{S_2}{[1 + S_2 \cdot (V - C)/8dc]} \quad V < C \quad (17)$$

Onde:

S_0 = velocidade de fluxo livre

S_1 = velocidade intermediária no ponto de quebra

S_2 = velocidade na capacidade

Além dos parâmetros considerados nas Equações 11 a 17, outros fatores podem ser utilizados para descrever a relação fluxo-velocidade. Um exemplo disto é o fator n considerado no modelo SATURN. O fator n tem como propósito essencial controlar o efeito do congestionamento no tempo de viagem. Com isso, se um valor alto de n é escolhido, como 5 por exemplo, os tempos de viagem permanecem próximos aos limites de fluxo livre até o fluxo alcançar a capacidade, em cada ponto eles crescem rapidamente até os valores de congestionamento. Um valor baixo de n , como 1 ou 2 por exemplo, faz com que as transições sejam muito mais graduais. Em termos gerais, valores altos de n são apropriados para arcos de

alta capacidade enquanto valores baixos são mais apropriados para vias de menor capacidade onde os efeitos do congestionamento estão principalmente associados com as interseções.

A Tabela 2 indica valores estimados dos parâmetros dos arcos da rede de acordo com o método do Departamento de Transportes do Reino Unido para rodovias rurais, suburbanas e urbanas.

Tabela 2: Parâmetros da relação fluxo-velocidade para redes viárias estratégicas

Rural				
S₀	S₂	F	C	n
116.0	45	1200	2520	3.81
112.0	45	1200	2430	3.85
108.5	45	1080	2260	3.66
104.5	45	1080	2180	3.68
91.0	45	1100	1860	2.24
84.0	45	1100	1660	2.13
87.0	45	880	1640	2.16
78.0	45	850	1380	2.07
67.0	45	770	1010	1.79
Suburbana				
S₀	S₂	F	C	n
78.0	35	1050	1730	3.29
71.0	35	1050	1270	2.04
58.0	35	250	500	1.40
68.0	25	1050	1730	3.74
61.0	25	1050	1270	2.32
48.0	25	250	500	1.55
Urbana				
S₀	S₂	F	C	n
54.0	25	490	980	1.67
48.5	25	390	780	1.56
44.5	25	325	650	1.48
37.0	15	370	740	1.83
34.0	15	315	630	1.73
28.5	15	225	450	1.55

Fonte: Van Vliet e Hall (2004).

2.4 ESTUDOS DA LITERATURA

A revisão de literatura buscou abranger os conhecimentos de pesquisas que utilizaram modelos de alocação de tráfego para avaliar redes viárias com diferentes sistemas de cobrança, localização e tarifas ótimas para pontos de cobrança e a consideração de classes múltiplas de usuários. Foram abrangidos também estudos que utilizam a técnica de preferência para estimar valores monetários de atributos no contexto de pesquisas de transportes.

2.4.1 Avaliação de sistemas de cobrança através de modelos de alocação de tráfego

Os estudos encontrados na literatura envolvendo a avaliação de sistemas de cobrança viária utilizam o modelo de alocação de tráfego SATURN e são relacionados basicamente a ambientes viários urbanos. Embora o presente estudo seja relacionado ao contexto rodoviário, os conceitos envolvidos na modelagem destes sistemas são importantes para a sua concepção. Dentre os estudos encontrados, destacaram-se os de Smith et al. (1994), Milne (1997), Santos (2000) e May e Milne (2000).

As pesquisas relacionadas ao efeito da cobrança de pedágio no desempenho de redes viárias vêm sendo realizadas desde a introdução do pedágio urbano como política de transportes em cidades inglesas. Os primeiros estudos, na década de 70, foram desenvolvidos através de propostas de implantação dos sistemas para a cidade de Londres e outras cidades inglesas. Destaca-se, ainda, a implantação bem sucedida do esquema de pedágio como restrição de tráfego em Singapura. Na década de 80, surgiram os primeiros anéis de cobrança na Noruega. Na década de 90, foram realizados mais estudos em Londres e outras cidades inglesas, além de estudos americanos (MILNE; MAY, 2000).

Smith et al. (1994) modelaram os efeitos sobre a velocidade média, o tempo, a distância e o atraso total de viagem de quatro sistemas de cobrança na cidade de Cambridge, Inglaterra. Estes sistemas foram: fixo onde os veículos pagam uma taxa fixa para utilizar a via, baseado na distância onde os veículos são cobrados de acordo com a distância percorrida, baseado no atraso onde os veículos são cobrados de acordo com os atrasos sofridos, baseados no tempo onde os veículos são cobrados de acordo com o tempo de viagem.

A modelagem dos sistemas foi realizada nos softwares CONTRAM (*Continuous Traffic Assignment Model*) e SATURN. As penalidades referentes à cobrança na via foram adicionadas às funções de custo generalizado dos modelos. No sistema de pedágio fixo, a penalidade foi fixa, no sistema baseado em distância, a penalidade foi dada em *pence* por quilômetro, nos sistemas baseados no atraso e no tempo de viagem, a penalidade foi dada em *pence* por minuto.

Os resultados do estudo mostraram que os sistemas de cobrança baseados no atraso são os que provêem as maiores reduções nos níveis de congestionamento e, conseqüentemente, o aumento do desempenho da rede viária. O segundo sistema mais eficiente na redução do congestionamento foi o baseado no tempo, seguido do baseado em distância e por último o pedágio fixo.

O estudo de Milne (1997) investigou os efeitos no fluxo de veículos dos mesmos quatro sistemas de pedágio testados por Smith et al. (1994). A análise foi realizada com o modelo SATURN nas cidades de Cambridge e York na Inglaterra. Neste estudo, as questões relativas aos parâmetros de custo utilizados na função de custo generalizado dos modelos de alocação de tráfego foram evidenciadas. O autor elucida que em pesquisas envolvendo a cobrança de tarifas de pedágio, utiliza-se uma componente de custo que torna os valores absolutos dos parâmetros *PPM* (*pence* por minuto) e *PPK* (*pence* por quilômetro) importantes na avaliação dos sistemas de pedágio.

Com isso, estes parâmetros devem assumir valores reais baseados na percepção de custo dos usuários do sistema avaliado. O Departamento de Transportes do Reino Unido, em 1989, forneceu valores de *PPM* e *PPK* para situações diferenciadas derivados do *Highways Economics Note* No. 2. Os valores variam, por exemplo, de acordo com o horário, o motivo das viagens ou a ocupação dos veículos. Estes valores foram utilizados no estudo de Milne (1997) e em outras pesquisas referentes a cidades inglesas como no estudo de Santos (2000) e Sumalee et al. (2005).

Resultados complementares ao estudo de Smith et al. (1994) indicaram que o sistema de cobrança baseado no atraso fornece o melhor desempenho na rede viária somente em níveis agregados. Avaliando os custos médios de viagem, verificou-se que as reduções no tempo de viagem resultaram no aumento da distância percorrida. Isso gerou a distribuição do fluxo de veículos para áreas com menor potencial de carregamento viário.

O estudo de Santos (2000) buscou estimar, através do modelo SATURN, os efeitos e os custos sociais do congestionamento de sistemas de cobrança nas áreas centrais das cidades de Cambridge e York. Estes custos foram medidos como a perda de eficiência na rede viária devido à implantação de sistemas de cobrança inapropriados. A perda foi medida através das estimativas do custo por hora total para todos os veículos na rede viária e da média de quilômetros viajada por um veículo. Com isso, obteve-se o custo privado médio e o custo marginal social. Os custos sociais do congestionamento foram calculados através da diferença entre o custo social marginal e a tarifa real paga pelos motoristas.

Como resultado do estudo, as cidades de Cambridge e York apresentaram características favoráveis à introdução de cobrança viária, obtendo-se diferenças de somente 8% em média nas suas tarifas. Isso indicou que é possível encontrar padrões para caracterizar a cobrança viária nas cidades, justificando a implantação de sistemas de cobrança através do Reino Unido.

May e Milne (2000) realizaram uma avaliação econômica, na cidade de Cambridge, dos quatro sistemas de cobrança de pedágio testados por Smith et al. (1994) e Milne (1997). Foram investigados, os padrões de cobrança, a resposta dos motoristas aos sistemas e a utilização de rotas de fuga. As análises do estudo foram realizadas no modelo SATURN através da rotina de alocação elástica SATEASY. Com isso, foi possível estabelecer a relação entre a frequência de uso do automóvel e a tarifa cobrada.

Os resultados indicaram que o sistema de cobrança baseado no congestionamento proporcionou o maior aumento na velocidade média de viagem e as maiores reduções no fluxo de veículos para os menores níveis de cobrança. Além disso, este sistema foi capaz de identificar, de maneira mais efetiva, os tipos de viagem que mais contribuem para o carregamento viário. Contudo, a cobrança por congestionamento foi menos efetiva na redução da distância percorrida, encorajando o uso de vias de menor hierarquia e contribuindo para os impactos ambientais. O sistema de cobrança baseado no tempo alcançou resultados superiores na maioria dos indicadores avaliados com relação aos demais sistemas. Concluiu-se, ainda, que quando o efeito da distribuição do fluxo de veículos é incluído no processo de modelagem, os benefícios da cobrança viária podem ser menores que os previstos.

2.4.2 Avaliação de localizações de *cordon pricing* e níveis de cobrança

O termo *cordon pricing* é utilizado para definir um sistema em que os veículos são cobrados quando passam por determinados pontos em uma rede viária. Estes pontos podem ser isolados ou, mais comumente, agrupados em laços contínuos ao redor de áreas definidas, ou linhas entre as áreas (MAY et al., 2002b). Na literatura, foram encontrados estudos que avaliaram as melhores localizações e tarifas de pontos de cobrança viária utilizando o modelo SATURN. Exemplos destes estudos são May et al. (2002b), Sumalee et al. (2005) e Mun et al. (2005).

O estudo de May et al. (2002b) desenvolveu dois métodos analíticos, *Cordon* e *Locate*, para identificar níveis ótimos de cobrança em pontos pré-definidos e as localizações ótimas para estes pontos. Os métodos foram aplicados em uma rede simplificada da cidade de Cambridge, onde foram obtidos resultados satisfatórios quanto à identificação da localização do *cordon* e a especificação de níveis de cobrança. Testes realizados em uma rede viária mais complexa confirmaram que o desempenho de um sistema de cobrança é muito sensível a localização do *cordon*. O estudo também concluiu que pontos de cobrança selecionados,

mesmo por um procedimento analítico simples, podem atingir benefícios econômicos cerca de 50% maiores do que *cordons* pré-definidos. Além disso, a consideração de cobranças uniformes em todos os pontos também pode produzir aumentos substanciais na eficiência econômica dos sistemas.

O estudo de Sumalee et al. (2005), corresponde a uma continuação da pesquisa realizada por May et al. (2002b). Esta pesquisa desenvolveu uma metodologia baseada em algoritmos genéticos para identificar localizações e tarifas ótimas para sistemas de cobrança. O objetivo do estudo foi comparar o desempenho de sistemas de cobrança baseados em abordagens teóricas e práticas. Os indicadores utilizados na comparação incluíram o bem-estar social, a renda e o impacto na equidade. A resposta dos motoristas aos sistemas de cobrança foi obtida através do modelo SATURN na rede viária de Edimburgo no Reino Unido. Os resultados do estudo indicaram que os sistemas avaliados, baseados na metodologia proposta, apresentaram resultados mais apropriados que os sistemas baseados em julgamentos práticos.

Mun et al. (2005) apresentaram uma análise econômica sobre a combinação ótima da localização e tarifas dos pontos cobrança. O estudo avaliou, ainda, através de simulações numéricas o desempenho dos sistemas ótimos de cobrança em termos de bem estar social. Um modelo espacial de tráfego foi desenvolvido para situações de congestionamento investigando os efeitos da localização dos pontos de cobrança na demanda de viagens e nos níveis de congestionamento.

2.4.3 Alocação de tráfego com classes múltiplas de usuários (CMU)

A introdução de classes múltiplas de usuários nos modelos de alocação de tráfego possibilita a diferenciação do comportamento de grupos de motoristas com percepções de custo diferenciadas, permitindo uma modelagem mais realista e precisa da escolha de rota (BLIEMER; BOVY, 2003). Além disso, quando se avalia sistemas de cobrança viários, a consideração de classes múltiplas permite diferenciar as tarifas para cada tipo de veículo. Os estudos que consideram classes múltiplas de usuários podem ser encontrados na literatura com abordagens diferenciadas. Exemplos destes estudos são Bliemer e Bovy (2003), Lam et al. (2006), Yang et al. (2002), Boyce e Bar-Gera (2004) e Rosa e Maher (2002).

Bliemer e Bovy (2003) propuseram, em seu estudo, classes múltiplas de usuários em modelos de alocação de tráfego dinâmicos, buscando proporcionar estimativas mais refinadas

de tempo de viagem e fluxos na rede. As classes de usuários do estudo foram definidas de acordo com os diferentes tipos de veículos que dividem o espaço viário, como carros, caminhões e ônibus. Buscou-se apropriar as interações entre as classes de usuários e dedicar-lhes funções de custo de viagem multidimensionais. Nesta realidade, o processo de escolha de rota foi diferenciado para cada classe de usuário, assim como as operações de fluxo de tráfego.

Lam et al. (2006) propôs um modelo de alocação de tráfego que considera simultaneamente a escolha do usuário quanto ao tempo, a rota utilizada, a localização e duração do estacionamento em redes viárias com múltiplas classes de usuários e múltiplas opções de estacionamentos. Neste modelo os usuários são diferenciados pelo motivo da sua viagem e tempo de duração no estacionamento. Os resultados deste estudo mostram que o comportamento dos usuários frente aos estacionamentos é afetado significativamente pela demanda de viagens, distância de caminhada, capacidade e preço do estacionamento.

O estudo de Yang et al. (2002), utilizou um modelo de equilíbrio com múltiplas classes de usuários para prever o fluxo e o lucro de rodovias privadas pedagiadas em uma rede viária. Examinaram-se as diferenças entre os resultados de modelos de equilíbrio tradicionais que utilizam um valor do tempo único médio e os modelos que consideram múltiplas classes de usuários. Os resultados numéricos deste estudo, realizados a partir de um exemplo de uma rede viária simplificada, ressaltam a importância de incorporar a heterogeneidade dos usuários na modelagem de rodovias pedagiadas. A consideração de homogeneidade entre os usuários pode levar a superestimação de investimentos em uma rodovia pedagiada. Estes resultados podem ajudar os investidores privados a identificarem com antecedência e sob quais circunstâncias estes projetos são viáveis e lucrativos e como irão beneficiar o investidor privado e os usuários de rodovia de diferentes grupos sociais.

Destacam-se ainda os estudos de Boyce e Bar-Gera (2004) e Rosa e Maher (2002). O primeiro trouxe uma revisão sobre os progressos na formulação e implementação de modelos com classes múltiplas de usuários que combinam uma série de escolhas de rotas em uma formulação matemática simples e consistente. Rosa e Maher (2002) discutem os modelos de alocação de tráfego por equilíbrio estocástico com classes múltiplas de usuários e demanda elástica.

2.4.4 Estudos de Preferência Declarada para estimar valores monetários de atributos

As pesquisas de preferência declarada são utilizadas frequentemente por planejadores de transportes para prever o impacto na demanda de viagens nas políticas de transporte como, por exemplo, a introdução de um novo modo de transporte, a mudança nas tarifas de transporte público ou a implantação de sistemas de cobrança viários. As pesquisas tradicionais de preferência declarada são baseadas na resposta de indivíduos sobre suas preferências em situações hipotéticas onde uma função de utilidade é estimada. A partir desta função é possível prever o comportamento dos respondentes assim como determinar os valores monetários de atributos contidos nesta função (FUJII; GARLING, 2003).

Os estudos relacionados à estimação do valor do tempo de viagem, nas pesquisas de transportes, podem ser considerados uma contribuição importante para avaliar os benefícios e a viabilidade de projetos (ARRUDA, 1997; GHOSH, 2000). A literatura apresenta uma série destes estudos, alguns exemplos são relacionados ao processo de divisão modal e cobranças de pedágio.

O estudo de Fowkes e Wardman (1988) avaliou a escolha entre os modais trem e táxi para os usuários da região Kent com destino à área central de Londres. Neste trabalho, os modos de transporte foram caracterizados através de cinco variáveis: tempo de viagem no veículo principal, tempo de viagem em veículo auxiliar, tempo de caminhada, tempo de espera e custo.

Calfee e Winston (1997) estimaram, em linhas gerais, o valor do tempo para viagens de automóvel como um parâmetro para determinar valores adequados para pedágios em rodovias congestionadas e os níveis de investimento. O objetivo das pesquisas foi estimar o valor que usuários de automóvel, que enfrentam condições de congestionamento, estão dispostos a pagar para economizar seu tempo.

Outros estudos buscaram avaliar a variabilidade no valor do tempo através do comportamento dos usuários (HOLLANDER, 2006; SENNA, 1994). A variação do valor do tempo pode influenciar as decisões dos usuários no que diz respeito à escolha de rota e aos modais de transporte. Estudos mais recentes estimam a escolha de modos considerando, além do valor do tempo, a confiabilidade dos usuários no sistema (BROWNSTONE; SMALL, 2005; BHAT; SARDESAI, 2006).

O estudo realizado por LASTRAN (1998) buscou avaliar o impacto gerado pelo programa de concessões rodoviárias no Rio Grande do Sul e utilizou a técnica de preferência declarada para avaliar a adequação da tarifa do pedágio com a disposição do usuário em pagá-la. Para isso, o estudo utilizou como atributos da pesquisa os itens que compõe a concessão: pavimentação, sinalização, serviços e tarifas de pedágio. A pesquisa foi realizada para diferentes classes de usuários: motoristas de automóvel à passeio e a trabalho e motoristas de caminhão autônomos e de empresas. Assim, a partir da estimação dos valores monetários destes atributos foi possível avaliar a importância que os usuários dão aos itens considerados. O estudo conclui que a tarifa praticada estava de acordo com o que o usuário estava disposto a pagar para os motoristas de automóvel e parcialmente para os veículos de carga que se dispõem a pagar 80% do valor básico.

Jorge (1999) identificou e quantificou a influência da qualidade do pavimento no processo de escolha de rota. O autor estimou o valor monetário da distância de viagem para rodovias de qualidades distintas através da técnica de preferência declarada. Com isso, o autor pode introduzir a influência da qualidade do pavimento na modelagem de alocação de tráfego. Dentre as principais conclusões, destaca-se a comprovação da importância da qualidade da pavimentação no processo de escolha de rota.

Dentre os estudos que buscam estimar o valor do tempo através de pesquisas de PD e que encontraram limitações na técnica podemos citar o de Brownstone e Small (2005) e Gosh (2000) que avaliaram sistemas de cobrança de pedágio em faixas de alta velocidade através da determinação do valor do tempo. Foi encontrado que os valores de tempo dos usuários nestes cenários, quando baseados em dados de preferência revelada, são aproximadamente duas vezes maiores do que os encontrados em pesquisas de preferência declarada. Com isso, pode-se concluir que as diferenças entre os resultados das pesquisas são significantes e reais e que os indivíduos possuem respostas diferentes com relação a situações reais e hipotéticas. Os resultados sugerem ainda que a utilização de dados de preferência declarada possa subestimar o valor do tempo em projetos de rodovias que possuem o propósito de reduzir o tempo de viagem em vias congestionadas através da introdução de cobrança viária.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos de previsão de demanda são ferramentas importantes para o planejamento de sistemas de transportes. Dentre estes modelos, de acordo com a sua

relevância para o presente estudo, destacam-se o comportamental desagregado que através da técnica de Preferência Declarada permite estimar valores monetários de atributos e os modelos de alocação de tráfego que estimam a distribuição do fluxo de veículos na rede viária considerando os principais fatores que influenciam o comportamento dos motoristas.

Através da abordagem dos princípios e conceitos destes modelos, tornou-se possível associar a utilização da técnica de Preferência Declarada para estimar parâmetros para os modelos de alocação de tráfego. Estes dados são referentes ao valor monetário do tempo e da distância percebido por diferentes classes de usuários em vias de qualidades distintas.

Não foi encontrado, na literatura, um estudo que combinasse todos os aspectos de modelagem consideradas neste trabalho. Nos estudos internacionais pesquisados, basicamente realizados em países desenvolvidos, aspectos relacionados à qualidade das rodovias não são mencionados na modelagem de redes viárias.

O estudo que mais se assemelhou com a presente pesquisa foi o de Jorge (1999) que utilizou a técnica de preferência declarada para estimar parâmetros de custo para modelos de alocação e avaliou a influência da qualidade das vias no processo de escolha de rota dos usuários.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta para este estudo busca avaliar a escolha de rota dos motoristas através dos principais fatores que influenciam a sua decisão. Essa avaliação é baseada no contexto rodoviário brasileiro e considera as diferentes percepções de custo das classes de usuários que compõe a rede viária, as diferenças na qualidade das vias, a cobrança de pedágio e a variação na distância e no tempo de viagem.

A população de usuários de rodovias pode ser dividida em grupos ou classes que possuem comportamentos semelhantes na percepção de custo nas vias e no processo de escolha de rota. As diferentes classes de usuários podem ser definidas através de fatores como tipo de veículo, motivo ou frequência da viagem assim como uma combinação destes.

Outro potencial fator interveniente na escolha de rota dos motoristas é a condição diferenciada de qualidade das vias, determinada, basicamente, pelo pavimento, sinalização e serviços. Os usuários procuram utilizar vias que proporcionem maior conforto, segurança, informação e menores danos ao seu veículo. O custo que o motorista associa às rodovias está relacionado com suas diferentes condições de utilização.

Em geral, a presença de pedágio em uma rodovia reflete em melhores condições de circulação, contudo resulta em cobrança de taxas para a utilização destas rotas. O pedágio, quando localizado em pontos que possuem rotas concorrentes sem cobrança, pode influenciar na escolha do usuário que avalia os benefícios gerados pela rodovia de melhor qualidade contra a taxa a ser paga pela sua utilização.

As distâncias e os tempos de viagem também são fatores que influenciam na escolha de rota. A disposição dos usuários em utilizar uma rodovia de baixa qualidade, por exemplo, pode ser diferenciada dependendo da distância ou tempo a ser percorrido. A mudança na percepção de custo dos usuários pode ser identificada conforme o aumento gradativo dos trechos percorridos, onde as distâncias e os tempos de viagem assumem diferentes valores.

Após uma etapa preliminar de definição das condições gerais, a metodologia deste estudo foi composta de duas fases complementares. A primeira fase buscou estimar os valores monetários dos atributos de tempo e distância através da técnica de Preferência Declarada. A segunda fase utilizou os valores estimados na primeira etapa como parâmetros da função de custo generalizado de um modelo de alocação de tráfego.

A estrutura geral da metodologia é apresentada através dos principais passos desenvolvidos para atingir o objetivo desta dissertação. São eles:

- 1) Definição da região de estudo e das classes de usuários avaliadas
- 2) Estimativa dos valores monetários dos atributos através da técnica de Preferência Declarada.
 - a) Definição da população alvo e tamanho da amostra
 - b) Seleção dos atributos e seus níveis
 - c) Desenvolvimento do questionário e projeto fatorial
 - i) Etapa 1 – Estimativa dos valores monetários dos atributos para a rota concorrente
 - ii) Etapa 2 – Estimativa dos valores monetários dos atributos para a rodovia pedagiada
 - d) Realização das entrevistas
 - e) Análise de dados
 - f) Obtenção dos valores monetários dos atributos
- 3) Avaliação da escolha de rota dos motoristas através de modelo de alocação de tráfego.
 - a) Construção da rede viária
 - b) Caracterização da demanda de viagens
 - c) Resultados e análise da distribuição do fluxo de veículos na rede viária

As etapas são detalhadas nos itens subseqüentes deste capítulo.

3.1 DEFINIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO E DAS CLASSES DE USUÁRIOS

A região de estudo considerada busca representar uma situação típica da malha rodoviária brasileira onde a diferença na qualidade das vias e a cobrança de pedágio influenciam a escolha de rota dos motoristas. Esta região é definida por um trecho viário que apresenta uma rodovia pedagiada com uma rota concorrente sem cobrança e de qualidade inferior. As rodovias consideradas podem ser correspondentes a uma situação existente na malha viária ou hipotética, prevendo a implantação de novas vias.

As classes de usuários do estudo são definidas de acordo com as diferentes percepções de custo que refletem o comportamento dos motoristas ao longo da rede viária. Estas classes podem ser definidas através de fatores como tipo de veículo, frequência ou o motivo das viagens. A definição das classes por tipo de veículo está relacionada aos custos operacionais e tarifas de pedágio, que variam de acordo com o número de eixos dos veículos. A definição das classes através da frequência das viagens reflete a maior oneração do pedágio para usuários mais frequentes. Acredita-se que o motivo das viagens está relacionado à frequência, pois as viagens mais regulares são normalmente a trabalho ou estudo. A metodologia proposta neste estudo permite que múltiplas classes de usuários sejam avaliadas, contudo é importante considerar as mais comuns na região de estudo.

3.2 ESTIMATIVA DOS VALORES MONETÁRIOS DOS ATRIBUTOS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE PREFERÊNCIA DECLARADA

A técnica de Preferência declarada utilizada neste estudo busca estimar os valores monetários dos atributos de tempo e distância de viagem que diferentes classes de usuários percebem em vias com condições de qualidade distintas. Estes valores são dados em unidades de reais para o valor monetário (R\$), minutos (min) para o tempo e quilômetros (km) para a distância de viagem constituindo-se o custo/min e o custo/km, respectivamente.

3.2.1 Definição da população alvo e tamanho da amostra

A população alvo de respondentes da pesquisa de Preferência Declarada corresponde aos indivíduos que pertencem às classes de usuários definidas para o estudo. A pesquisa deve ser realizada com motoristas familiarizados com o trecho rodoviário considerado, refletindo suas experiências pessoais quanto à escolha de rota na região. Contudo, é importante

considerar que as entrevistas com os usuários não sejam realizadas nos trechos das rodovias da região de estudo, pois os usuários podem apresentar tendências nas suas respostas relativas à aceitabilidade da cobrança de pedágio existente ou a ser implantada. Com isso, na realização das entrevistas, as rodovias do trecho em questão são apresentadas através de imagens, mas sua localização não é informada aos respondentes.

O tamanho da amostra de respondentes recomendado em pesquisas deste tipo varia de 75 a 100 entrevistas para cada classe de respondentes (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2001; PARK; HÁ, 2006).

3.2.2 Seleção dos atributos e seus níveis

Os atributos utilizados no experimento buscam refletir os fatores que influenciam a escolha de rota dos usuários no contexto da malha rodoviária brasileira. Os fatores considerados são: qualidade da via, distância percorrida, tempo de viagem e a cobrança de pedágio.

A qualidade da via apresenta dois níveis representados por imagens da rodovia pedagiada e da sua rota concorrente. Para os demais atributos os níveis são definidos com base nas características de região de estudo. O nível intermediário correspondente à distância é definido a partir da extensão do trecho que o usuário percorre para utilizar a rota concorrente e evitar a cobrança de pedágio. Da mesma forma, o nível intermediário considerado para o tempo de viagem é baseado no tempo de viagem aproximado para percorrer a rota concorrente. A cobrança de pedágio tem seu nível intermediário baseado na tarifa de pedágio praticada na região de estudo para os diferentes tipos de veículos. Os níveis superior e inferior dos atributos de distância, tempo e cobrança de pedágio são definidos a partir dos valores intermediários. A variação entre os níveis dos atributos deve ser estruturada de modo que a troca de opinião dos usuários seja percebida nas entrevistas (FOWKES; WARDMAN, 1988).

3.2.3 Desenvolvimento do questionário e projeto fatorial

Após a definição dos atributos e seus níveis, pode-se elaborar o projeto fatorial do questionário da pesquisa. Este projeto fatorial define os cartões a serem avaliados por cada respondente e as alternativas presentes em cada cartão através da combinação entre os níveis dos atributos. Ao utilizar o projeto fatorial completo, ou seja, todas as combinações dos níveis

dos atributos, o questionário pode se tornar extenso e criar situações irreais a serem avaliadas pelos respondentes (FOWKES; WARDMAN, 1988). Com isso, para tornar o questionário mais objetivo e claro para os indivíduos podem ser adotadas algumas considerações como a fixação de alguns atributos nos cenários e a exclusão de alternativas não realísticas.

A pesquisa de Preferência Declarada é dividida em duas partes e cada parte é dividida em duas etapas complementares. A primeira parte da pesquisa busca estimar os valores monetários do tempo de viagem e a segunda busca estimar os valores monetários da distância de viagem. Em cada uma das partes, a primeira etapa estima os valores monetários dos atributos para a rota concorrente à rodovia pedagiada e a segunda, a partir dos resultados da primeira etapa estima os valores monetários dos atributos para a rodovia pedagiada. A Figura 4 apresenta a estrutura geral da pesquisa.

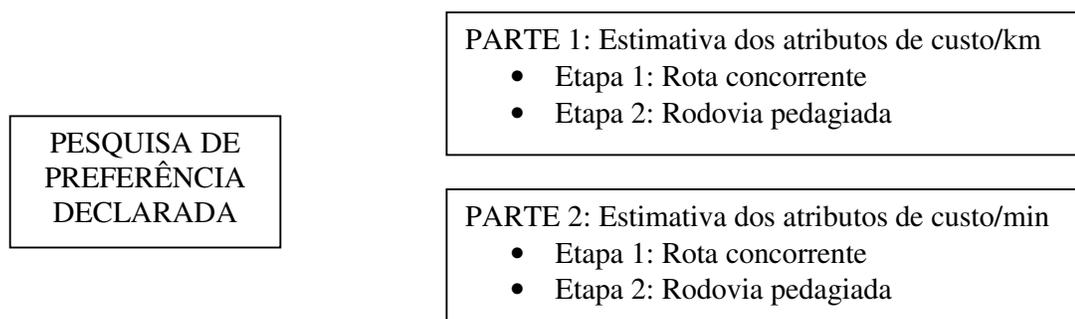


Figura 4: Representação das partes e etapas da Pesquisa de Preferência Declarada

Optou-se por realizar a pesquisa em duas partes para que os respondentes possam avaliar os atributos de tempo e distância de viagem separadamente. Embora estes atributos sejam correlacionados e deveriam, idealmente, ser estimados conjuntamente, pesquisas piloto realizadas neste estudo demonstraram dificuldades com este procedimento. Nas pesquisas piloto, nas quais os atributos foram apresentados conjuntamente, observou-se que os usuários não foram capazes de distinguir os atributos de forma correta, gerando resultados inconsistentes.

As duas partes da pesquisa possuem o mesmo design experimental variando apenas o atributo de tempo ou distância, e seus níveis associados. As duas etapas das partes da pesquisa são apresentadas a seguir.

3.2.3.1 Etapa 1 - Estimativa dos valores monetários dos atributos para a rota concorrente

A primeira etapa da pesquisa refere-se à determinação dos valores monetários dos atributos para a rota concorrente a rodovia pedagiada. Nesta etapa os cenários apresentam como alternativas as duas rodovias avaliadas e variações nos níveis dos atributos de tempo ou distância de viagem, e nos valores monetários para a alternativa referente à rodovia pedagiada. O atributo de valor monetário é fixo na alternativa referente à rota concorrente onde seu valor é zero. O projeto fatorial desta etapa, considerando-se três níveis para cada atributo variável, é apresentado na Tabela 3 com a respectiva ordem de apresentação dos cartões. O número de classes pode variar de i até j .

Tabela 3: Projeto fatorial da Etapa 1

Cartão	Distância (km) ou Tempo de Viagem (min)	Rota Concorrente (R\$)	Rodovia Pedagiada (R\$)	
			Classe i	Classe j
1	Nível A	0,00	Nível 1	Nível 1
2	Nível B	0,00	Nível 1	Nível 1
3	Nível C	0,00	Nível 1	Nível 1
4	Nível A	0,00	Nível 2	Nível 2
5	Nível B	0,00	Nível 2	Nível 2
6	Nível C	0,00	Nível 2	Nível 2
7	Nível A	0,00	Nível 3	Nível 3
8	Nível B	0,00	Nível 3	Nível 3
9	Nível C	0,00	Nível 3	Nível 3

As escolhas dos entrevistados entre as alternativas são interpretadas da seguinte forma: os usuários que escolhem a rota concorrente deixam de utilizar a rodovia pedagiada porque percebem um custo igual ou menor na rota escolhida. A partir deste pressuposto, a Etapa 1 limita-se a obter os custos percebidos pelos motoristas referentes somente à rota concorrente, pois esta não apresenta valores monetários associados como nas alternativas referentes à rodovia pedagiada. Para estimar os custos percebidos pelos usuários nos atributos de tempo e distância da rodovia pedagiada é necessário realizar a Etapa 2.

3.2.3.2 Etapa 2 - Estimativa dos atributos para a rodovia pedagiada

A segunda etapa da pesquisa refere-se à determinação dos parâmetros de custo para a rodovia pedagiada. Assim como na Etapa 1, os cenários desta pesquisa apresentam como alternativas as duas rodovias avaliadas. Contudo os atributos presentes nas alternativas são

referentes somente à distância ou ao tempo de viagem. Os níveis destes atributos são fixos para a alternativa referente à rodovia pedagiada e variam de forma decrescente para as alternativas referentes à rota concorrente. Em cada cenário, os níveis dos atributos de tempo e distância são sempre maiores na alternativa referente à rodovia pedagiada. O projeto fatorial desta etapa, considerando-se quatro níveis para o atributo variável, é apresentado na Tabela 4 com a respectiva ordem de apresentação dos cartões.

Tabela 4: Projeto fatorial da Etapa 2

Cartão	Distância (km) ou Tempo (min) de viagem na Rodovia Pedagiada	Distância (km) ou Tempo de viagem (min) Rota Concorrente
1	Nível A	Nível 1
2	Nível A	Nível 2
3	Nível A	Nível 3
4	Nível A	Nível 4

O objetivo desta etapa da pesquisa é obter o ponto em que o usuário troca a utilização da rodovia pedagiada pela rota concorrente. Este ponto indica quanto tempo ou distância os usuários estão dispostos a percorrer a mais em uma via de boa qualidade para evitar a utilização de uma via com piores condições de trafegabilidade. Esta diferença mostra a relação entre as duas rodovias e permite determinar os custos da rodovia pedagiada a partir dos custos estimados para a rota concorrente.

3.2.4 Realização das entrevistas

O questionário completo, englobando as duas partes e as duas etapas da pesquisa, deve possuir um número de cartões máximo para serem avaliados por cada respondente. Kroes e Sheldon (1988) recomendam um número máximo de 16 cartões. Aconselha-se aplicar primeiramente a Etapa 2 correspondente ao ponto de troca entre as rodovias seguida da etapa 1 relacionada com os valores monetários dos atributos. Desta forma, busca-se evitar que os respondentes associem valores monetários na etapa relacionada ao ponto de troca. A ordem de apresentação das partes da pesquisa é indiferente, pois estas variam apenas na consideração dos atributos de tempo ou distância.

3.2.5 Análise dos dados

Após a obtenção dos dados da pesquisa de Preferência Declarada, os modelos para as duas etapas da pesquisa podem ser estimados. O modelo da Etapa 1, referente à estimativa dos valores monetários dos atributos de tempo e distância para a rota concorrente, pode ser visualizado na Equação 18.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \quad (18)$$

Onde Y_i corresponde à escolha entre as rodovias, X_1 aos níveis dos valores monetários e X_2 aos níveis dos atributos de tempo ou distância. Da mesma forma, o modelo da Etapa 2, referente ao ponto de troca, pode ser visualizada na Equação 19.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 \quad (19)$$

Onde Y_i representa a escolha entre as rodovias e X_1 os níveis da diferença entre os atributos de tempo ou distância.

Os coeficientes das Equações 18 e 19 podem ser determinados com a utilização de um software estatístico através da função de distribuição logística. Essa distribuição é considerada a mais adequada por três razões básicas: é adequada para variáveis de resposta binárias, do ponto de vista matemático esta função é flexível e de fácil utilização e a interpretação dos resultados possui significados nominais para as variáveis binárias.

Após a obtenção das estimativas dos coeficientes dos modelos, avalia-se sua significância através de testes de hipóteses. Os testes mais tradicionais são qui-quadrado, Hosmer-Lemeshow e Wald (HOSMER; LEMESHOW, 1989; GUJARATI, 2000).

Recomenda-se a utilização da estatística de Wald para demonstrar a significância dos coeficientes. A escolha desta estatística está relacionada à conveniência e facilidade de interpretação dos seus resultados. O teste de Wald, apresentado na Equação 20, é obtido através da comparação da estimativa da máxima verossimilhança dos parâmetros β com uma estimativa do seu erro padrão. A razão resultante, sob a hipótese nula, é de que $\beta = 0$ seguirá uma distribuição normal padrão (HOSMER; LEMESHOW, 1989).

$$W_j = \frac{\beta_j}{EP(\beta_j)} \quad (20)$$

O valor p é $P(|Z| > W)$, onde Z representa uma variável aleatória seguindo a distribuição normal padrão. O valor p é a probabilidade ou nível de significância observado de cometer um erro do tipo I (probabilidade de rejeitar a hipótese verdadeira, onde o erro tipo II é a probabilidade de aceitar a hipótese falsa). O valor p pode ser definido tecnicamente como o menor nível de significância com o qual a hipótese nula pode ser rejeitada.

3.2.6 Estimativa do valor monetário dos atributos

Após a obtenção dos coeficientes do modelo da Etapa 1 e sua validação estatística, é possível estimar os valores monetários dos atributos de tempo e distância. A forma funcional para estimar estes valores é dada na Equação 21 (KOCKELMAN, 1998).

$$VV_{ij} = \frac{\frac{\partial U}{\partial X_i}}{\frac{\partial U}{\partial X_j}} \quad (21)$$

Onde VV_{ij} é o valor estimado do atributo considerado, $\partial U/\partial X_i$ é a derivada parcial da utilidade em relação ao atributo e $\partial U/\partial X_j$ é a derivada parcial da utilidade em relação ao custo.

Quando uma função linear é utilizada para determinar a função de utilidade esta fórmula pode se simplificada. Com isso, o valor monetário conferido a um determinado atributo pode ser estimado através da Equação 22 (PEARCE et al., 2002).

$$VV_{ij} = \frac{\beta_2}{\beta_1} \quad (22)$$

Onde β_1 é o coeficiente da variável de custo e β_2 é o coeficiente relativo ao atributo tempo ou distância.

3.2.6.1 Ponto de troca

Após a obtenção dos coeficientes das variáveis do modelo da Etapa 2 e sua validação estatística, é possível estimar os pontos de troca entre as rodovias. A partir destes pontos determinam-se os valores monetários dos atributos para a rodovia pedagiada através dos valores estimados para a rota concorrente na Etapa 1.

O valor da variável dependente no modelo da Etapa 2 assume valor 0 para a escolha da rodovia pedagiada ou 1 para a rota concorrente. A variável independente X é relativa à diferença de distância ou tempo de viagem entre as rodovias. Esta diferença reflete a economia de tempo ou distância que a rota concorrente deve proporcionar com relação à rodovia pedagiada para que o usuário opte por sua utilização.

Sendo assim, quando as curvas de probabilidade de escolha versus a diferença dos valores dos atributos para a rodovia pedagiada e a rota concorrente se interceptam, a probabilidade de escolha de qualquer via é a mesma e assume o valor de 0,5. Essas relações podem ser observadas nas Equações 23, 24 e 25 abaixo.

$$Y = \text{Ln}\left(\frac{\text{Pr ob}}{(1 - \text{Pr ob})}\right) = \beta_0 + \beta_1 X \quad (23)$$

Sendo $\text{Pr ob}(y) = 0,5$, então:

$$Y = \text{Ln}\left(\frac{0,5}{(1 - 0,5)}\right) = 0 \quad (24)$$

Então,

$$X_T = -\frac{\beta_0}{\beta_1} \quad (25)$$

O valor de X_T representa o ponto de troca entre as duas rodovias, onde β_0 é a constante estimada e β_1 é o coeficiente da diferença entre os valores do atributo de tempo ou distância entre as rodovias.

O ponto de troca indica a diferença de distância ou tempo que as vias devem possuir para que a rodovia de menor qualidade se torne atraente para o usuário. Ou seja, indica

quantos quilômetros ou minutos de viagem a menos a rota concorrente deve possuir com relação à rodovia pedagiada para que o usuário opte por sua utilização.

Os valores dos atributos da rodovia pedagiada são estimados a partir de uma proporção dos valores dos atributos da rota concorrente. Essa proporção é definida através de uma regra de três, onde a máxima distância ou tempo de viagem da rodovia pedagiada corresponde a 100% e o percentual da variação do valor de distância ou tempo que a rota alternativa deve possuir no ponto de troca corresponde à percentagem que se deseja encontrar. Por exemplo, se a distância de viagem na rodovia pedagiada corresponde a 60 km (100%) e o ponto de troca ocorre quando a diferença de distância entre as duas for de 20 km, a rota alternativa deverá possuir 40 km. Os 40 km que a rota concorrente possui no ponto de troca corresponde a 67% (40/60) dos 60 km da rodovia pedagiada. A diferença percentual entre as distâncias das vias será de $100\% - 67\% = 33\%$. Ou seja, os valores dos atributos da rodovia pedagiada correspondem a 33% dos valores dos atributos da rota concorrente.

3.3 ESTIMATIVA DA ESCOLHA DE ROTA DOS USUÁRIOS ATRAVÉS DE MODELO DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

A modelagem da escolha de rota dos usuários é realizada através da distribuição do fluxo de veículos na rede viária. Esta estimativa é realizada através da modelagem de alocação de tráfego. Consideram-se, nesta modelagem, diferentes classes de usuários, cobrança de pedágio e penalidades associadas a vias de baixa qualidade.

O critério para a escolha de rota, nos modelos de alocação, é definido de acordo com as características do fluxo de veículos na região de estudo, conforme apresentado no item 2.3. Os critérios mais utilizados são o equilíbrio estocástico e o equilíbrio de Wardrop, para níveis intermediários e elevados de congestionamento, respectivamente (VAN VLIET; HALL, 2004).

Os custos de viagem, representados na equação de custo generalizado dos modelos de alocação referem-se aos parâmetros de custo/km e custo/min estimados pela pesquisa de Preferência Declarada. Estes parâmetros são específicos para cada classe de usuário com relação às condições de qualidade distintas da rodovia pedagiada e sua rota concorrente. Com isso, na modelagem as vias da rede podem apresentar custos e penalidades monetárias referentes à cobrança de pedágio ou as más condições de qualidade das rodovias diferenciadas para cada classe de usuário.

Os parâmetros de custo estimados para a rodovia pedagiada, representando um bom nível de qualidade, são utilizados para caracterizar a percepção de custo dos usuários em todas as vias da rede viária. Com isso, parte-se do princípio que todas as vias possuem o mesmo padrão de qualidade e que as vias que apresentam qualidade inferior possuem penalidades associadas.

Os parâmetros de custo estimados para a rota concorrente, que apresentam um nível de qualidade inferior à rodovia pedagiada, são utilizados como penalidades em vias deste tipo. Esta penalidade é definida através da multiplicação do custo/km estimado para a rota concorrente menos o custo/km estimado para a rodovia pedagiada (já considerado) pelo comprimento em quilômetros da rota concorrente. A penalidade considerando o custo relacionado à distância é preferível ao tempo por tratar-se de ambientes rodoviários onde os níveis de congestionamento são médios a baixos e onde as características relacionadas à qualidade das vias são avaliadas. Em regiões onde a saturação da demanda é presente, o parâmetro de tempo poderia ser considerado.

Com isso, são atribuídas as duas rodovias os mesmos custos de circulação, contudo a rodovia pedagiada apresenta penalidades referentes à cobrança de tarifas e, a rota concorrente, penalidades associadas a sua qualidade inferior.

Após a caracterização do processo de escolha de rota, a modelagem de alocação de tráfego utiliza dois conjuntos de dados, um relacionado à construção da rede viária e outro relacionado à demanda de viagens. Estas etapas são definidas a seguir.

3.3.1 Construção da rede viária

A rede viária, nos modelos de alocação, pode ser construída com diferentes características dependendo dos objetivos do estudo e das condições da região. Em estudos estratégicos ou envolvendo redes viárias com características rurais que apresentam níveis baixos ou intermediários de congestionamento os dados podem ser referentes somente aos arcos (vias) da rede. Em estudos referentes a redes viárias com características urbanas que apresentam níveis consideráveis de congestionamento e onde os conflitos nas interseções influenciam o tráfego de veículos os dados devem ser referentes aos arcos e aos nós (interseções) da rede.

A rede viária modelada compreende, principalmente, as vias referentes à rodovia pedagiada e sua rota concorrente consideradas. As demais vias da região podem ser incluídas

na rede, dependendo do tipo de análise a ser realizada, contudo, as análises não são focadas nestas vias.

3.3.2 Caracterização da demanda de viagens

A demanda de veículos ao longo da rede viária modelada é caracterizada por uma matriz origem-destino, indicando o padrão de deslocamento dos motoristas entre zonas de tráfego. A calibração desta matriz é realizada com dados de contagens de volume de tráfego das vias da rede que apresentam fluxo mais significativo. Os dados da matriz origem-destino podem corresponder a volume de veículos horário ou diário entre as zonas de tráfego.

3.3.3 Resultados e análise da distribuição do fluxo de veículos na rede viária

O indicador de desempenho utilizado para a análise de dados deste estudo corresponde ao grau de saturação das vias através da sua relação volume/capacidade. Esta relação pode ser representada pela distribuição do volume de veículos nas vias da rede ou percentuais deste volume entre pares origem-destino.

4 APLICAÇÃO PRÁTICA

A partir da metodologia proposta, um estudo de caso foi realizado com o objetivo de ilustrar o problema em questão. Esta aplicação não busca a resolução de um problema real, mas sim demonstrar a aplicabilidade do modelo. Esta aplicação consistiu na análise do fluxo de veículos em redes viárias que possuem uma rodovia pedagiada e uma rota concorrente a esta rodovia, sem cobrança e com qualidade inferior.

4.1 DEFINIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO E DAS CLASSES DE USUÁRIOS

As rodovias utilizadas no experimento correspondem a uma auto-estrada pedagiada e uma rodovia de pista simples, localizadas no trecho Porto Alegre – Osório, no Estado do Rio Grande do Sul. Estas rodovias representam rotas para o Litoral e, com isso, apresentam efeitos de sazonalidade no fluxo de veículos. No período de férias de verão, o fluxo de veículos nestas rodovias é aproximadamente 5 vezes maior do que no período pós-férias. Os fluxos mais intensos são observados nos meses de janeiro e fevereiro, principalmente nos finais de semana. Os horários de fluxo mais intenso concentram-se na sexta-feira a partir das 18 horas e no sábado pela manhã.

A auto-estrada avaliada está sob concessão e possui duas praças de pedágio na área de estudo. A primeira é no município de Gravataí com cobrança bidirecional e a segunda no município de Santo Antonio da Patrulha, onde a cobrança é unidirecional no sentido Porto Alegre – Osório. Apenas a segunda praça de pedágio foi considerada nas análises, pois é onde a rota concorrente está localizada. A auto-estrada apresenta duas pistas, uma em cada sentido, separadas por canteiro central e três faixas por sentido com acostamento. O pavimento da auto-estrada apresenta bom estado de conservação na maioria dos trechos. A velocidade média é de aproximadamente 100 km/h possuindo boa sinalização horizontal e vertical e bons níveis de serviços para os usuários. A Figura 5 mostra as condições da auto-estrada.



Figura 5: Auto-estrada no trecho Porto Alegre - Osório

A rodovia de pista simples, também sob concessão, representa uma rota concorrente à auto-estrada em um trecho de aproximadamente 25 km onde não existe cobrança de pedágio. A rodovia apresenta pista simples com sentido duplo e uma faixa por sentido. Uma parte do trecho analisado encontra-se em perímetro urbano com circulação de pedestres, ciclistas e ônibus locais. O pavimento da rodovia apresenta qualidade inferior à auto-estrada na maioria dos trechos e a sinalização vertical e horizontal é precária em alguns pontos. A velocidade média da via é de aproximadamente 50 km/h. A Figura 6 mostra as condições da rodovia de pista simples.

As classes de usuários avaliadas neste experimento são representadas por motoristas de automóvel e motoristas de caminhão de dois eixos. Estes tipos de veículos representam 83% do fluxo de veículos na auto-estrada e 77% na rodovia de pista simples. As tarifas de pedágio unidirecionais praticadas na região para os dois tipos de veículos podem ser observadas na Tabela 5.



Figura 6: Rodovia de pista simples no trecho Porto Alegre – Osório

Tabela 5: Tarifas de pedágio praticadas na região de estudo

Tipo de veículo	Automóvel	Caminhão - 2 eixos
Tarifa	R\$ 5,50	R\$ 11,00

Fonte: ABCR (2006c)

4.2 ESTIMATIVA DOS VALORES MONETÁRIOS DOS ATRIBUTOS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE PREFERÊNCIA DECLARADA

A estimativa dos valores monetários dos atributos de tempo e distância corresponde à obtenção dos dados de custo/km e custo/min percebido por cada classe de usuário nas rodovias avaliadas foi realizada através da técnica de Preferência Declarada. Estes dados foram estimados com base nas características da região de estudo considerada.

4.2.1 Identificação da população alvo e escolha da amostra

A população alvo corresponde a motoristas de automóvel e motoristas de caminhão de dois eixos. A amostra de respondentes referente aos motoristas de automóvel correspondeu a alunos dos cursos de especialização da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do

Sul), cujas disciplinas são ministradas fora dos turnos de trabalho habituais. Esta amostra foi selecionada, pois estes alunos, na sua grande maioria, possuem automóveis e são familiarizados com a região de estudo. Além disso, a amostra de motoristas de automóvel foi dividida de acordo com a frequência de utilização de rodovias entre os que utilizam rodovias uma vez por semana ou mais e os que utilizam rodovias menos de uma vez por semana.

A amostra de respondentes referente aos motoristas de caminhão constitui-se de condutores autônomos, ou seja, que não possuem vínculo e/ou trabalham para empresas ou instituições. Estes motoristas foram selecionados, pois, na maioria das vezes, são proprietários do veículo e possuem autonomia para decidir a respeito do pagamento do pedágio ou a utilização de desvios para evitar a cobrança. Para os motoristas de empresas, normalmente, é fornecido o vale pedágio que induz o motorista a pagar a tarifa. Os motoristas autônomos foram entrevistados na CEASA-RS (Central de Abastecimento do Rio Grande do Sul) na cidade de Porto Alegre. Este local foi selecionado devido à predominância de motoristas autônomos de caminhões de dois eixos que realizam o transporte das mercadorias. Pode-se constatar que estes veículos utilizam rodovias regularmente, pois grande parte dos motoristas transporta mercadorias para regiões fora do município de Porto Alegre.

4.2.2 Seleção dos atributos e seus níveis

Os atributos considerados no experimento foram: qualidade da rodovia, distância percorrida, tempo de viagem e valor monetário. A Tabela 6 apresenta os atributos utilizados em cada parte e etapa da pesquisa definidas no item 3.2.3.

Os níveis do atributo referente à qualidade das rodovias foram definidos de acordo com as características da auto-estrada e da rodovia de pista simples representadas através das imagens das Figuras 5 e 6. A estimativa dos níveis dos demais atributos foi diferenciada para cada etapa da pesquisa e são definidos a seguir.

Tabela 6: Fatores considerados nas partes e nas etapas da pesquisa

Parte da pesquisa	Etapa	Atributos utilizados
Obtenção do custo/km	Rota alternativa	Qualidade da rodovia Distância de viagem Valor monetário
	Rodovia Pedagiada (Ponto de Troca)	Qualidade da rodovia Distância de viagem
Obtenção do custo/min	Rota alternativa	Qualidade da rodovia Tempo de viagem Valor monetário
	Rodovia Pedagiada (Ponto de Troca)	Qualidade da rodovia Tempo de viagem

4.2.2.1 Etapa 1 – Estimativa dos valores monetários dos atributos para a rodovia de pista simples

Os níveis do atributo de distância desta etapa da pesquisa foram definidos a partir da extensão que deve ser percorrida na rodovia de pista simples para desviar do pedágio presente na auto-estrada. Esta extensão é de aproximadamente 25 km. Sendo assim, o valor intermediário dos níveis para a distância foi considerado 25 km e o limite superior e inferior foram 40 km e 10 km, respectivamente.

Os níveis do atributo de tempo foram baseados no tempo de viagem aproximado para percorrer os 25 km na rodovia de pista simples. O valor intermediário considerado foi de 30 minutos e o limite inferior e superior foram 15 minutos e 45 minutos, respectivamente.

O atributo de valor monetário teve seus níveis baseados nas tarifas de pedágio praticadas na região. Como identificado na Tabela 5, os valores cobrados para automóveis e caminhão de dois eixos são R\$ 5,50 e R\$ 11, respectivamente. Estes valores foram utilizados como valores intermediários para os níveis correspondentes ao valor monetário. Os limites inferior e superior foram, respectivamente, de R\$ 3,50 e R\$ 7,50 para motoristas de automóvel e R\$ 9 e R\$ 13 para motoristas de caminhão. Nas alternativas referentes à rodovia de pista simples o valor monetário foi fixo e igual a zero em todos os cartões.

A Tabela 7 apresenta o projeto fatorial da pesquisa com a combinação das alternativas, representando os nove cartões referentes ao atributo de tempo e os nove cartões referentes ao atributo de distância. Considerando-se as duas partes da pesquisa, foram formados 18 cartões avaliados por cada respondente.

Em cada cartão avaliado perguntou-se aos respondentes: “Se você fosse realizar uma determinada viagem e possuísse como alternativas a rodovia de pista simples e a auto-estrada (apresentadas nas figuras) qual destas alternativas você escolheria, considerando-se determinados tempos ou distâncias de viagem e a cobrança monetária na auto-estrada?”.

Tabela 7: Projeto fatorial da Etapa 1

Cartão	Distância (km)	Tempo de Viagem (min)	Rodovia de Pista Simples (R\$)	Auto-estrada (R\$) automóvel	Auto-estrada (R\$) caminhão
1	10	15	0,00	3,50	9,00
2	25	30	0,00	3,50	9,00
3	40	45	0,00	3,50	9,00
4	10	15	0,00	5,50	11,00
5	25	30	0,00	5,50	11,00
6	40	45	0,00	5,50	11,00
7	10	15	0,00	7,50	13,00
8	25	30	0,00	7,50	13,00
9	40	45	0,00	7,50	13,00

4.2.2.2 Etapa 2 - Estimativa dos valores monetários dos atributos para a auto-estrada através do Ponto de Troca

A segunda etapa da pesquisa, realizada com os atributos de tempo ou distância, apresentou quatro níveis para a rodovia de pista simples e um nível fixo para a auto-estrada. Estes níveis foram definidos a partir de pesquisas piloto com motoristas de automóvel familiarizados com a região de estudo. Estas pesquisas buscaram testar a sensibilidade dos valores dos atributos e identificar níveis adequados de acordo com a percepção de custo dos motoristas nas rodovias. O projeto fatorial desta pesquisa é apresentado na Tabela 8. Neste projeto foram formados 8 cartões avaliados por cada respondente, sendo 4 referentes ao atributo de tempo e 4 referentes ao atributo de distância.

Em cada cartão avaliado perguntou-se aos respondentes: “Se você fosse realizar uma determinada viagem e possuísse como alternativas a rodovia de pista simples e a auto-estrada (apresentadas nas figuras) considerando-se determinados tempos ou distâncias de viagem em cada rodovia, qual destas alternativas você escolheria?”.

Tabela 8: Projeto fatorial da Etapa 2

Cartão	Distância (km)		Tempo (min)	
	Auto-estrada	Rodovia pista simples	Auto-estrada	Rodovia pista simples
1	60	50	60	50
2	60	40	60	40
3	60	30	60	30
4	60	20	60	20

4.3 EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO

As duas partes da pesquisa relativas ao custo/km e ao custo/min foram aplicadas para cada respondente, assim como as suas duas etapas. Um total de 26 cartões foi elaborado para cada respondente, embora a literatura recomende um número máximo de 16 cartões (KROES; SHELDON, 1988). Contudo, na maioria das entrevistas, um número reduzido de cartões foi apresentado, pois as respostas dos indivíduos possibilitavam a dedução de suas respostas seguintes. Por exemplo, na Etapa 1, se um indivíduo estivesse disposto a pagar R\$3,50 para utilizar 10km da auto-estrada, ele certamente estaria disposto a pagar este mesmo valor para percorrer distâncias maiores da mesma rodovia. Ainda, na Etapa 2, se o usuário trocasse a utilização da auto-estrada pela rodovia de pista simples quando a diferença de distância entre as duas fosse de 30 km, este realizaria a mesma troca quando houvesse uma diferença de distância maior.

Na realização das entrevistas percebeu-se que muitos respondentes apresentaram tendências em suas respostas. Estas tendências refletiram manifestações ideológicas e políticas com relação à cobrança de pedágio. Isso se deve ao fato de que o pedágio ainda é um assunto polêmico e controverso entre os usuários de rodovias no Brasil e em muitas partes do mundo. Os motoristas se sentem sobre taxados pelo sistema uma vez que já são cobrados impostos sobre a propriedade dos veículos e os combustíveis. Com isso, os resultados das pesquisas podem ser prejudicados, pois os usuários manifestam, muitas vezes, os seus desejos ou a sua vontade e não o seu comportamento real.

Além disso, a obtenção dos custos relativos à distância e ao tempo de viagem pode ter sido entendida de forma correlacionada pelos respondentes. A intenção do questionário era obter dados reais de custos para serem utilizados em modelos de alocação de tráfego que consideram cobranças monetárias de pedágio. Em estudos deste tipo os valores da distância e

do tempo devem ser cuidadosamente considerados para compor a função de custo generalizado com os valores monetários do pedágio.

Contudo, na realização da pesquisa, as questões relativas ao valor da distância, por exemplo, estavam implícitas nas questões relativas ao tempo e vice-versa. Ao avaliar o custo da distância de viagem nos cenários apresentados através da comparação entre as duas rodovias, os usuários puderam deduzir que em rodovias em piores condições de trafegabilidade, a velocidade e, conseqüentemente, o tempo de viagem são menores. Da mesma forma, na avaliação do custo do tempo de viagem pode-se levar em consideração o desconforto em utilizar rodovias de menor qualidade por um tempo maior.

4.4 ANÁLISE DE DADOS DAS PESQUISAS DE PREFERÊNCIA DECLARADA

A análise dos dados da pesquisa foi realizada com o software estatístico SPSS através da regressão logística binária. As considerações da análise foram descritas no item 3.2.5. Os resultados podem ser observados nos itens subseqüentes para cada classe de usuários avaliada.

4.4.1 Resultados das análises da pesquisa de Preferência Declarada para motoristas de caminhão

As Tabelas 9 a 12 apresentam, a partir dos dados da pesquisa de Preferência Declarada, as análises referentes à estimativa dos coeficientes dos modelos e sua significância. Apresentam-se os resultados da análise da Etapa 1 relativos ao custo/km e ao custo/min para a rodovia de pista simples, e da Etapa 2, dos pontos de troca para estimar os custos da auto-estrada. Estas análises foram realizadas para as duas partes da pesquisa referentes aos atributos de tempo e distância.

Para as pesquisas realizadas com motoristas de caminhão, as estimativas dos coeficientes do modelo foram adequadas uma vez que todas as significâncias foram menores que 5%.

Tabela 9: Coeficientes estimados em relação ao custo/km para motoristas de caminhão

	Coeficiente estimado β	Erro padrão	Estatística de Wald	Significância
Custo (R\$)	0,249	0,043	32,873	0,000
Distância (km)	-0,040	0,006	47,413	0,000
Constante	-1,618	0,490	10,911	0,001

Tabela 10: Coeficientes estimados em relação ao custo/min para motoristas de caminhão

	Coeficiente estimado β	Erro padrão	Estatística de Wald	Significância
Custo (R\$)	0,290	0,043	44,884	0,000
Tempo (min)	-0,030	0,006	27,363	0,000
Constante	-2,268	0,497	20,806	0,000

Na função de utilidade da pesquisa de preferência declarada espera-se que os valores dos coeficientes de custo, tempo e distância de viagem sejam negativos uma vez que a adição destes fatores reduz a utilidade das alternativas. Contudo, os coeficientes de custo desta parte da pesquisa obtiveram resultados positivos indicando a inadequação deste modelo para análises de troca entre as alternativas através da modificação dos valores dos fatores considerados.

Uma vez que o objetivo deste modelo é obter os valores monetários dos atributos e não avaliar a troca entre as alternativas, os sinais dos valores dos coeficientes não foram considerados. Para obter os valores monetários dos atributos é importante que a ordem de grandeza dos coeficientes seja adequada.

Tabela 11: Coeficientes estimados com relação ao ponto de troca da diferença das distâncias para motoristas de caminhão

	Coeficiente estimado β	Erro padrão	Estatística de Wald	Significância
Diferença distância (km)	0,071	0,011	44,549	0,000
Constante	-2,70	0,313	62,220	0,000

Tabela 12: Coeficientes estimados com relação ao ponto de troca da diferença dos tempos para motoristas de caminhão

	Coeficiente estimado β	Erro padrão	Estatística de Wald	Significância
Diferença Tempo (min)	0,063	0,011	34,719	0,000
Constante	-2,470	0,320	59,422	0,000

4.4.2 Resultados das análises da pesquisa de Preferência Declarada para motoristas de automóvel

A amostra de usuários de automóvel, que havia sido dividida inicialmente em duas classes distintas de acordo com a frequência de viagem em rodovias, não apresentou diferença significativa nas suas respostas. Com isso, estas duas classes foram representadas em uma classe única de motoristas de automóvel.

As Tabelas 13 a 16 apresentam, a partir dos dados da pesquisa de Preferência Declarada, as análises referentes à estimativa dos coeficientes dos modelos e sua significância. Apresentam-se os resultados da análise da Etapa 1, relativos ao custo/km e ao custo/min para a rodovia de pista simples, e da Etapa 2, dos pontos de troca para estimar os custos da auto-estrada. Estas análises foram realizadas para as duas partes da pesquisa referentes aos atributos de tempo e distância.

Tabela 13: Coeficientes estimados em relação ao custo/km para motoristas de automóvel

	Coeficiente estimado β	Erro padrão	Estatística de Wald	Significância
Custo (R\$)	0,665	0,057	137,216	0,000
Distância (km)	-0,075	0,007	102,692	0,000
Constante	-0,940	0,307	9,405	0,002

Tabela 14: Coeficientes estimados em relação ao custo/min para motoristas de automóvel

	Coeficiente estimado β	Erro padrão	Estatística de Wald	Significância
Custo (R\$)	0,570	0,056	104,541	0,000
Tempo (min)	-0,071	0,007	93,589	0,000
Constante	0,090	0,332	0,074	0,786

Tabela 15: Coeficientes estimados com relação ao ponto de troca da diferença das distâncias para motoristas de automóvel

	Coeficiente estimado β	Erro padrão	Estatística de Wald	Significância
Diferença Distância (km)	0,199	0,018	118,554	0,000
Constante	-4,536	0,445	103,709	0,000

Tabela 16: Coeficientes estimados com relação ao ponto de troca da diferença dos tempos para motoristas de automóvel

	Coeficiente estimado β	Erro padrão	Estatística de Wald	Significância
Diferença Tempo (min)	0,241	0,024	103,784	0,000
Constante	-4,633	0,493	88,410	0,000

Para as pesquisas realizadas com motoristas de automóvel, as estimativas dos coeficientes do modelo foram adequadas uma vez que todas as significâncias foram menores que 5%, exceto para a constante do modelo que estimou o custo/min. Esta constante não apresenta problema à estimação do custo/min, pois não faz parte do cálculo para o mesmo.

4.4.3 Obtenção dos valores monetários dos atributos

A Tabela 17 apresenta o custo/km e o custo/min atribuído pelos motoristas de automóvel e caminhão à rodovia de pista simples. Estes dados foram obtidos a partir da aplicação da Equação 22 (item 3.2.6) com os coeficientes β estimados na Etapa 1 da pesquisa.

Tabela 17: Custo/km e Custo/min para a rodovia de pista simples

Automóvel		Caminhão	
Custo/km	Custo/min	Custo/km	Custo/min
0,113	0,125	0,160	0,104

Os resultados da Tabela 17 permitem estimar a velocidade aproximada percebida pelos motoristas na rodovia de pista simples através da divisão do custo/min pelo custo/km. Para os motoristas de automóvel obteve-se velocidade aproximada de 66 km/h e para motoristas de caminhão 39 km/h. Os valores monetários dos atributos estimados indicam que

os usuários de automóvel estariam dispostos a pagar R\$ 0,113 para reduzir um quilômetro de distância de viagem e R\$ 0,125 para reduzir um minuto de tempo de viagem na rodovia de pista simples. Da mesma forma, os motoristas de caminhão estariam dispostos a pagar R\$ 0,160 para reduzir um quilômetro de distância de viagem e R\$ 0,104 para reduzir um minuto de tempo de viagem na rodovia de pista simples.

A partir dos custos estimados para a rodovia de pista simples, foi possível estimar os custos para a auto-estrada. O ponto de troca entre as duas rodovias é obtido através da aplicação da Equação 25 (item 3.2.6.1) para os coeficientes β estimados na Etapa 2 da pesquisa. Estes valores são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Pontos de troca relativos à diferença de tempo e distância

Diferença	Automóvel		Caminhão	
	Distância (km)	Tempo (min)	Distância (km)	Tempo (min)
	22,8	19,22	34,8	39,2

Os pontos de troca podem ser representados, ainda, através da interseção entre as curvas definidas pela probabilidade de escolha (abscissa) e a variação da diferença entre os atributos de tempo ou distância (ordenada) das duas rodovias. Essas curvas podem ser visualizadas nas Figuras 7, 8, 9 e 10.

O ponto de troca da utilização da auto-estrada para a rodovia de pista simples para os usuários de automóvel ocorre quando a diferença de distância é de aproximadamente 23 km e de tempo em 19 min. Para os usuários de caminhão, o ponto de troca ocorre quando a diferença de distância entre as rodovias é de aproximadamente 35 km e a diferença de tempo é de 39 min.

Ou seja, para motoristas de automóvel o custo associado a uma viagem de 60 km em uma auto-estrada corresponde a 37 km em uma rodovia de pista simples e 60 min correspondem a 41 min. Para motoristas de caminhão 60 km em uma auto-estrada correspondem a 25 km em uma rodovia de pista simples e 60 minutos correspondem a 21 min.

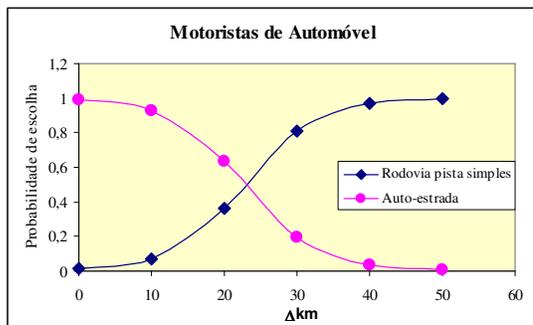


Figura 7: Ponto de troca relativo à distância para motoristas de automóvel

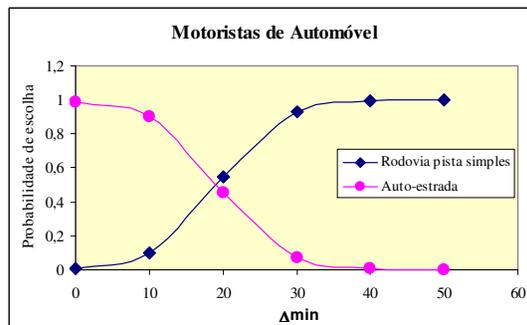


Figura 8: Ponto de troca relativo ao tempo para motoristas de automóvel

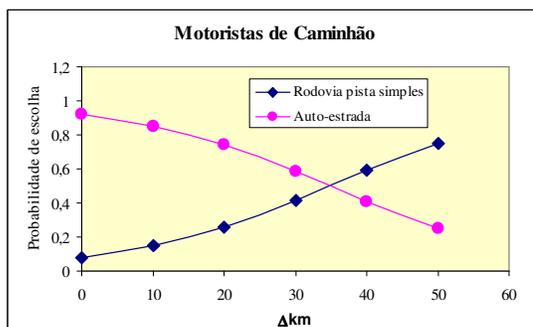


Figura 9: Ponto de troca relativo à distância para motoristas de caminhão

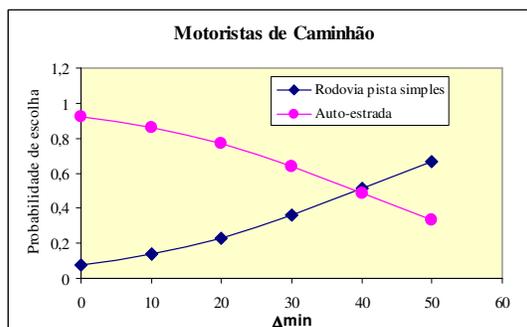


Figura 10: Ponto de troca relativo ao tempo para Motoristas de caminhão

A partir destes valores pode-se calcular o percentual dos custos da rodovia de pista simples que correspondem à auto-estrada através da diferença percentual entre as distâncias e tempos de viagem no ponto de troca entre as vias. A Tabela 19 apresenta estes valores.

Tabela 19: Percentual dos custos da rodovia de pista simples que corresponde à auto-estrada

		Tempo (min)	Distância (km)
Motoristas de Automóvel	Auto-estrada	60 (100%)	60 (100%)
	Rodovia de pista simples	41 (68%)	37 (62%)
	Percentual da Auto-estrada	100-68=32%	100-62=38%
Motoristas de Caminhão	Auto-estrada	60 (100%)	60 (100%)
	Rodovia de pista simples	21 (35%)	25 (42%)
	Percentual da Auto-estrada	100-35=65%	100-42=58%

Com a obtenção dessas relações é possível inferir o custo/km e o custo/min para a auto-estrada, utilizando os custos obtidos na Tabela 17 referentes à Etapa 1, conforme a Tabela 20.

Tabela 20: Custo/km e Custo/min para a auto-estrada

	Automóvel		Caminhão	
	Custo/km	Custo/min	Custo/km	Custo/min
Auto-estrada	$0,113 \times 0,38 = 0,043$	$0,125 \times 0,32 = 0,040$	$0,173 \times 0,58 = 0,093$	$0,105 \times 0,65 = 0,068$

Os resultados da Tabela 20 permitem estimar a velocidade aproximada percebida pelos motoristas na auto-estrada através da divisão do custo/min pelo custo/km. Para os motoristas de automóvel a velocidade aproximada é de 71 km/h e para motoristas de caminhão é de 53 km/h. Os valores monetários dos atributos estimados indicam que os usuários de automóvel estariam dispostos a pagar R\$ 0,043 para reduzir um quilômetro de distância de viagem e R\$ 0,040 para reduzir um minuto de tempo de viagem na auto-estrada. Da mesma forma, os motoristas de caminhão estariam dispostos a pagar R\$ 0,093 para reduzir um quilômetro de distância de viagem e R\$ 0,068 para reduzir um minuto de tempo de viagem na auto-estrada.

A síntese dos dados de custos obtidos para a auto-estrada e a rodovia de pista simples de acordo com a percepção de cada classe de usuários é dada na Tabela 21.

Tabela 21: Custo/km e Custo/min para a rodovia de pista simples e a auto-estrada

	Automóvel		Caminhão	
	Custo/km	Custo/min	Custo/km	Custo/min
Rodovia de pista simples	0,113	0,125	0,160	0,104
Auto-estrada	0,043	0,040	0,093	0,068

4.5 ESTIMATIVA DE ESCOLHA DE ROTA DOS USUÁRIOS ATRAVÉS DE MODELO DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

A estimativa da escolha de rota dos motoristas foi realizada com o modelo de alocação de tráfego SATURN. O critério de escolha de rota adotado foi o equilíbrio estocástico, definido no item 2.3.4. A escolha deste critério no modelo SATURN faz com que

os parâmetros KOB e SUET devam ser ajustados para caracterizar a distribuição de custo nos arcos da rede. Essa distribuição de custos pode ser realizada através da distribuição retangular (KOB = 0) ou da distribuição normal. A distribuição normal pode ser dividida, ainda, em dois tipos onde o valor de SUET pode corresponder ao coeficiente de variação (KOB = 1) ou ao coeficiente de dispersão (KOB = 2).

Segundo Van Vliet e Hall (2004) a distribuição normal é mais satisfatória do ponto de vista teórico e KOB = 2 é preferível a KOB = 1 indicando que as propriedades de dois arcos em série são idênticas às propriedades de um arco único combinado. Estes parâmetros refletem a tendência dos usuários em permanecer em uma rota contínua, sem realizar desvios desnecessários em sua viagem. A utilização destes parâmetros torna o procedimento estocástico do SATURN mais próximo do recomendado pelo Departamento dos Transportes do Reino Unido.

A função de custo generalizado para cada classe de usuário foi determinada através dos parâmetros de custo/km e custo/min estimados na pesquisa de Preferência Declarada. Os parâmetros de custo estimados para a auto-estrada foram considerados os valores padrão utilizados na modelagem, ou seja, todos os arcos da rede apresentaram o mesmo custo percebido pelos usuários referentes a uma rodovia de boa qualidade. Contudo, a rodovia de pista simples recebeu uma penalidade relacionada à sua qualidade inferior. Essa penalidade foi inserida no modelo através da subtração do custo/km da auto-estrada, já considerada no modelo, pelo custo/km da rodovia de pista simples. Este custo/km foi então multiplicado pelo comprimento da rodovia de pista simples obtendo-se, assim, uma penalidade monetária fixa relativa à utilização desta via. Com isso, a auto-estrada contemplou uma penalidade monetária relativa à tarifa de pedágio e a rodovia de pista simples contemplou a penalidade monetária relativa à sua qualidade inferior.

4.5.1 Construção da rede viária

Nesta aplicação prática foram modeladas duas redes viárias no modelo computacional SATURN com diferentes níveis de abrangência. Estas redes foram do tipo buffer, definidas no item 2.3.7. Cada arco da rede viária, quando introduzido no modelo SATURN, além do comprimento, apresentou especificações relativas às suas relações de fluxo-velocidade de acordo com o item 2.3.7.2. Os parâmetros foram determinados de acordo com as características observadas em cada via da região de estudo como hierarquia,

velocidade e níveis de saturação. As redes viárias modeladas foram denominadas de rede simplificada e rede detalhada.

4.5.1.1 Rede simplificada

A rede modelada simplificada abrangeu a região de estudo a partir do ponto de escolha dos usuários entre a auto-estrada e a rodovia de pista simples, no município de Santo Antônio da Patrulha até o fim da rota concorrente, no município de Osório, em um trecho de aproximadamente 25 km para ambas as rodovias. Nesta rede, apenas a auto-estrada e a rodovia de pista simples foram modeladas. Esta análise teve como objetivo testar a sensibilidade dos parâmetros tempo, distância e valores monetários nas vias consideradas. A Figura 11 abaixo mostra a rede modelada no SATURN com a rodovia de pista simples e a auto-estrada:

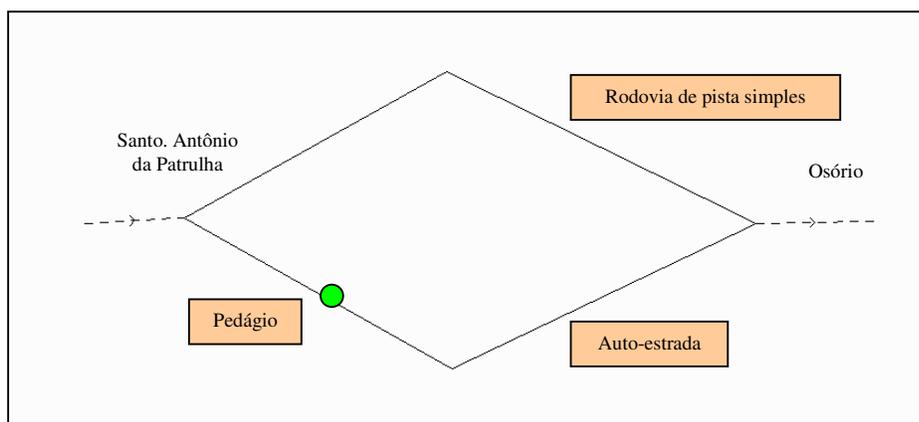


Figura 11: Rede viária simplificada

4.5.1.2 Rede detalhada

A rede modelada detalhada foi mais abrangente e representou a região de estudo a partir da capital de Porto Alegre até o município Tramandaí, em um trecho de aproximadamente 100 km. Neste trecho, além da auto-estrada e da rodovia de pista simples, algumas rodovias adjacentes a estas foram modeladas. Esta análise teve como objetivo avaliar o fluxo de veículos na rede em nível mais agregado.

Os dados para a construção desta rede foram obtidos a partir de um trabalho prático realizado pelo LASTRAN em 2000 que contemplou toda a modelagem da rede viária do Estado do Rio Grande do Sul. A parte de rede viária de interesse pôde ser extraída da rede viária total do Estado através de um recurso oferecido pelo modelo SATURN. A Figura 12 abaixo mostra a rede modelada no SATURN e a localização das praças de pedágio nas vias da região:

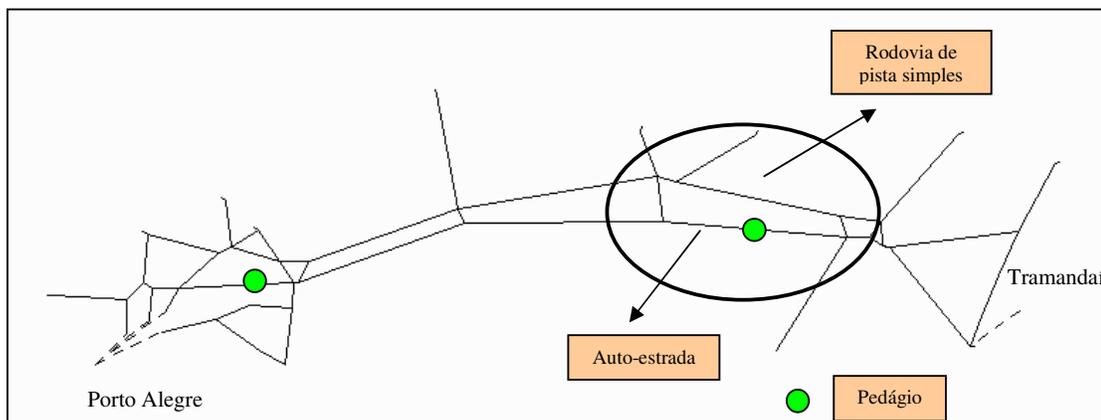


Figura 12: Representação da rede viária modelada no SATURN e a localização das praças de pedágio nas vias

4.5.2 Caracterização da demanda de viagens

As duas redes viárias modeladas no SATURN apresentaram diferentes características na demanda de viagens de acordo com sua abrangência da área de estudo. Os dados de entrada correspondentes ao fluxo de veículos, para serem utilizados no SATURN, foram transformados em unidades de veículo padrão (UVPs) multiplicando-se o número de veículos por 1,5. Essa proporção foi estimada através da razão entre o número de veículos equivalentes e o número de veículos observados na auto estrada e na rodovia de pista simples fornecidos pela concessionária da rodovia.

A matriz de viagens foi considerada a mesma para as classes de usuários de automóvel e caminhão de dois eixos. Cada classe correspondeu a um percentual da matriz de acordo com o fluxo de cada tipo de veículo na rede viária. Na região de estudo, os automóveis corresponderam a aproximadamente 50% das UVPs e os caminhões de dois eixos cerca de 13% das UVPs. Para completar a matriz, os valores de cada classe foram expandidos

proporcionalmente até alcançar 100% das UVPs, resultando em 80% de automóveis e 20% de caminhões na matriz de viagens.

4.5.2.1 Rede simplificada

A matriz de viagens da rede modelada simplificada foi composta de um par origem-destino entre os municípios de Santo Antônio da Patrulha e Osório com dados de fluxo de veículos referentes à hora pico para os períodos de férias de verão e pós-férias. No período de verão o fluxo observado foi de aproximadamente 5000 veículos por hora e no período pós-férias foi de aproximadamente 900 veículos por hora no sentido Porto Alegre – Litoral.

4.5.2.2 Rede detalhada

A matriz de viagens da rede detalhada foi estimada com dados de fluxo em volumes diários médios de veículos (VDM) para o período de férias de verão e pós-férias. Estes dados, assim como os dados da construção da rede viária, foram obtidos no trabalho prático realizado pelo LASTRAN em 2000 que contemplou toda a rede viária do Estado do Rio Grande do Sul. O padrão da demanda de viagens foi estimado a partir dos fluxos alocados nas vias da região de estudo e de contagens do ano de 2004, em três pontos da rede. Dois destes pontos foram localizados nas praças de pedágio existentes na auto-estrada. O outro ponto foi localizado na rodovia de pista simples, no trecho utilizado como desvio para evitar o pedágio da auto-estrada.

As rodovias que apresentam praças de pedágio normalmente possuem contagens de veículos e, estas são facilmente disponibilizadas para consulta pela concessionária. Contudo nas rodovias onde não há sistema de cobrança normalmente estes dados não são contabilizados. Este é o caso da rodovia de pista simples que, apesar de estar sob concessão, não possui cobrança de pedágio. A única contagem disponibilizada pela concessionária foi referente aos dias 30/06/2004 (quarta-feira) a 04/07/2004 (domingo) no período pós-férias. Devido a esta limitação, buscaram-se contagens nas praças de pedágio da auto-estrada referentes há estes mesmos dias. O volume diário médio (VDM) de veículos para os três pontos foi estimado com o fluxo observado destes dias.

Para o período de férias de verão o fluxo de veículos na matriz de viagens e nos pontos de contagem foi considerado aproximadamente cinco vezes maior do que no período

pós-férias. Esta relação foi obtida através dos dados de fluxo de veículos, nos mesmos dias da semana que os dados de fluxo do período pós-férias, fornecidos pela concessionária da auto-estrada no período de verão do ano de 2004.

4.6 RESULTADOS DA MODELAGEM DO FLUXO DE VEÍCULOS

Após a caracterização da modelagem, a construção das redes viárias e a estimativa da demanda de viagens foi possível iniciar a análise dos dados da escolha de rota dos usuários através da distribuição do fluxo de veículos na rede viária. A seguir são apresentados os resultados da alocação de tráfego no modelo SATURN para a rede simplificada e a rede detalhada.

4.6.1 Rede simplificada

A distribuição do fluxo de veículos em UVPs/h para a rede viária simplificada resultantes da alocação de tráfego no modelo SATURN podem ser visualizados nas Figuras 13 e 15 para os períodos pós-férias e férias de verão respectivamente. A distribuição percentual do fluxo de veículos em cada rodovia é dada nas Figuras 14 e 16 para os períodos pós-férias e férias de verão respectivamente.

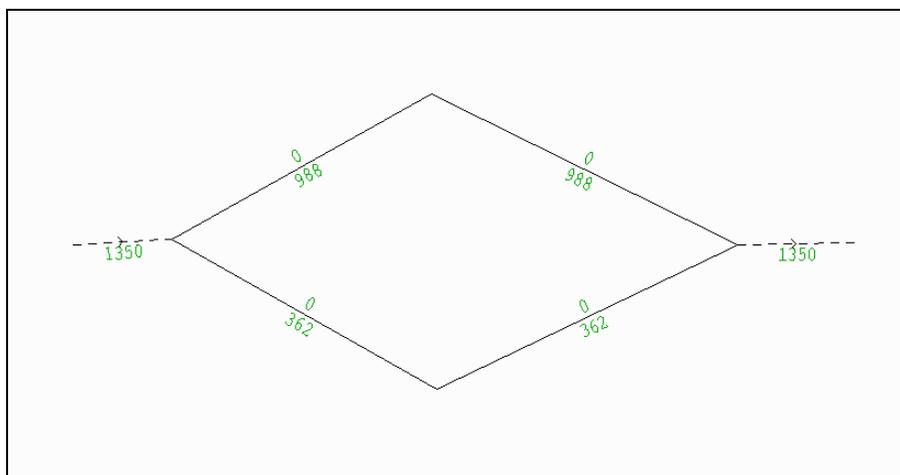


Figura 13: Distribuição do Fluxo de veículos no período pós-férias

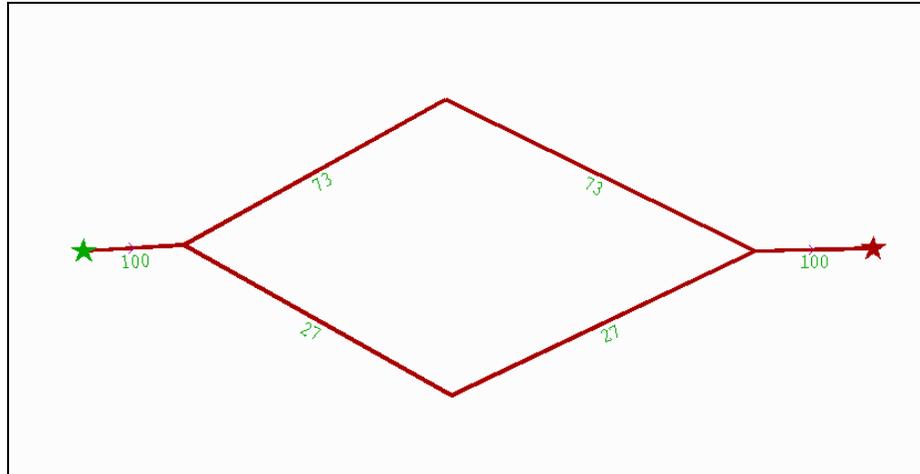


Figura 14: Distribuição percentual do Fluxo de veículos no período pós-férias

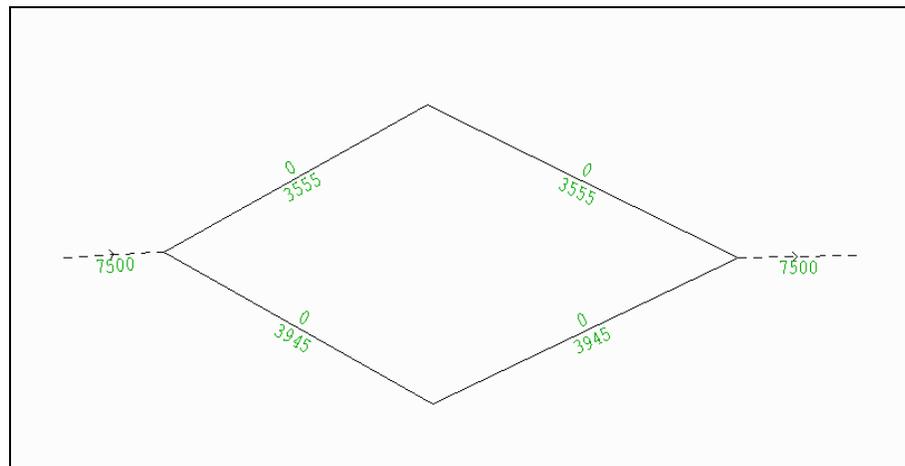


Figura 15: Distribuição do Fluxo de veículos no período de férias de verão

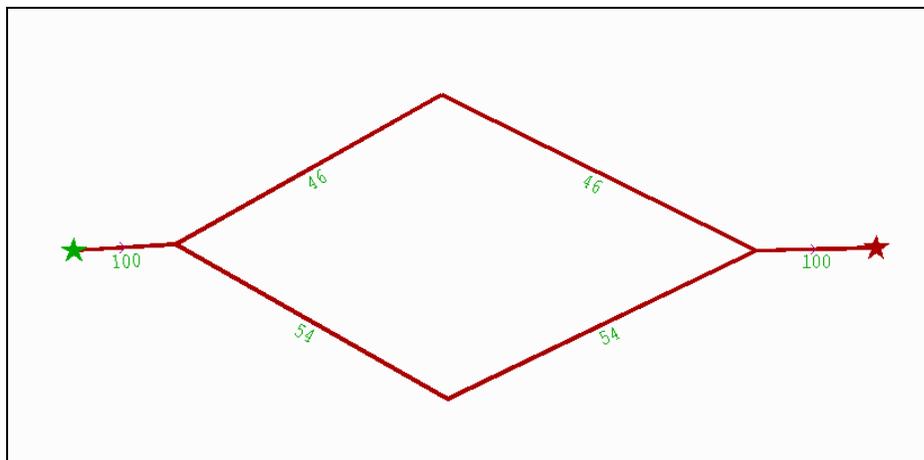


Figura 16: Distribuição percentual do Fluxo de veículos no período de férias de verão

Os resultados da modelagem da rede viária simplificada, para o período pós-férias estimaram o fluxo de veículos em 73% na rodovia de pista simples e 27% na auto-estrada. Para o período de verão, o fluxo estimado foi de 46% na rodovia de pista simples e 54% na auto-estrada.

4.6.2 Rede detalhada

Os dados percentuais de fluxo em UVP/dia, resultantes da alocação de tráfego, para a rede viária detalhada, podem ser visualizados nas Figuras 17 e 18 abaixo para o para os períodos de pós-férias e férias de verão.

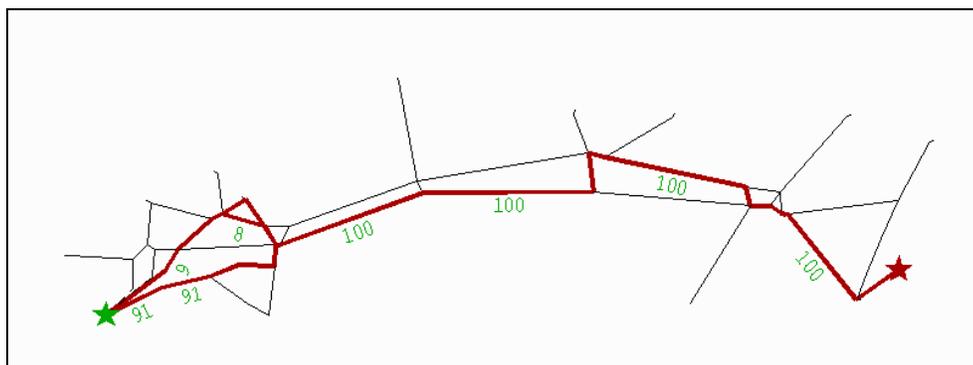


Figura 17: Distribuição percentual do Fluxo de veículos no período pós-férias

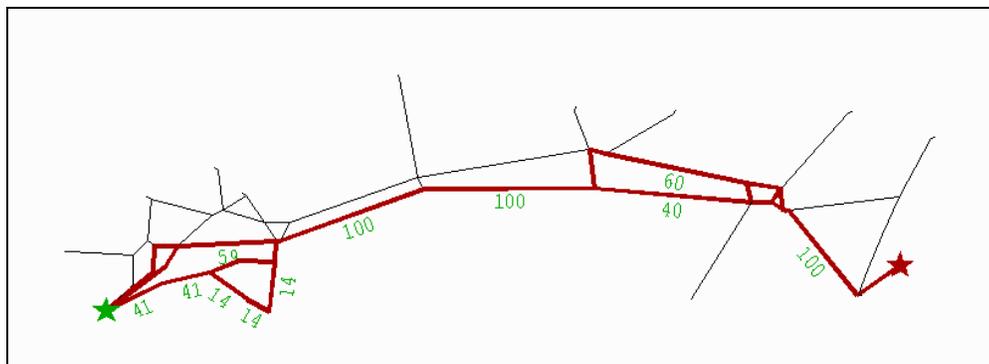


Figura 18: Distribuição percentual do Fluxo de veículos no período de férias de verão

Os resultados da modelagem da rede viária detalhada, para o período pós-férias estimaram o fluxo de veículos em 100% na rodovia de pista simples e 0% na auto-estrada. Para o período de verão, o fluxo estimado foi de 60% na rodovia de pista simples e 40% na auto-estrada.

4.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA MODELAGEM DO FLUXO DE VEÍCULOS

A estimativa do fluxo de veículos resultante da modelagem de tráfego, tanto na rede viária simplificada, quanto na rede viária mais detalhada, diverge dos fluxos observados nas rodovias avaliadas. De acordo com os dados de fluxo das duas rodovias em ambos os períodos avaliados, aproximadamente 80% dos usuários utilizam a auto-estrada e 20% utilizam a rodovia de pista simples como rota no trecho analisado. Através destes resultados pôde-se constatar que o modelo apresentado possui limitações na representação do tráfego da rede viária em questão.

A partir desta constatação podem-se investigar os fatores que influenciaram os resultados da modelagem. Uma das principais evidências a ser analisada são os parâmetros de custo estimados através da pesquisa de Preferência Declarada. Acredita-se que estes valores podem ter sido subestimados pelos respondentes que refletiram nas respostas da pesquisa suas intenções de comportamento e não o seu comportamento real observado. Esse tipo de comportamento dos respondentes é a principal limitação da técnica de Preferência Declarada (FUJII; GARLING, 2002; KROES; SHELDON, 1988).

Em alguns estudos da literatura pode-se observar discussões sobre os resultados de pesquisas de Preferência Declarada na estimativa do valor do tempo, indicando que os

usuários subestimam o seu comportamento em pesquisas que envolvem alternativas com cobrança de pedágios (BROWNSTONE; SMALL, 2005; GOSH, 2000; CALFEE; WINSTON, 1997).

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E PESQUISA COMPLEMENTAR

Este capítulo busca avaliar as limitações da metodologia utilizada referente à estimativa de parâmetros para modelos de alocação de tráfego a partir da técnica de Preferência Declarada. Para isso, apresenta-se a discussão dos resultados obtidos na aplicação prática e alguns possíveis fatores de influência na escolha de rota dos usuários como a falta de conhecimento destes sobre a rota concorrente. Além disso, busca-se investigar, através de uma pesquisa complementar com os usuários da região de estudo, a real influência destes fatores.

5.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO

Através dos resultados obtidos na modelagem de alocação de tráfego, parte-se para a investigação dos possíveis fatores que resultaram na limitação da metodologia utilizada neste estudo. Um destes fatores está relacionado à estrutura da pesquisa de preferência declarada. Devido à dificuldade de compreensão dos respondentes, os valores monetários dos atributos de tempo e distância foram estimados em partes independentes na pesquisa. Contudo, na prática, estes atributos podem apresentar correlação para os usuários, ou seja, quando se avalia o tempo de viagem implicitamente, a distância de viagem também está sendo avaliada, e vice-versa. Com isso, os valores monetários dos atributos podem apresentar sobreposição quando adicionados na função de custo generalizado dos modelos de alocação de tráfego.

Outro fator a ser considerado é a relação entre os pressupostos dos modelos de alocação de tráfego e da técnica de Preferência Declarada. Os modelos de alocação de tráfego consideram que os usuários da rede viária conhecem todas as rotas disponíveis para realizar uma viagem entre um determinado par origem-destino. A rota escolhida será aquela que possui o menor custo generalizado, ou seja, o menor valor da combinação dos atributos de tempo, distância e valores monetários. Contudo, nas pesquisas de Preferência Declarada a

escolha entre as alternativas pode estar baseada em situações hipotéticas, ou seja, as alternativas apresentadas aos respondentes não necessariamente existem e precisam ser identificadas pelos respondentes.

Na pesquisa de Preferência Declarada realizada neste estudo, as alternativas foram baseadas em rodovias existentes, mas não foram identificadas pelo pesquisador como sendo a auto-estrada e a rodovia de pista simples localizadas no trecho rodoviário entre os municípios de Santo Antônio da Patrulha e Osório. Os respondentes avaliaram as alternativas através das imagens mostradas pelos pesquisadores que não foram questionados a respeito do seu conhecimento e hábito de utilização das rotas.

Alguns aspectos da região de estudo também podem ser observados a fim de explicar os resultados da modelagem. Um destes aspectos é o fato da auto-estrada ter sido inaugurada em 1973 posteriormente à rodovia de pista simples. Antes disso, os usuários da região de estudo possuíam a rodovia de pista simples como rota principal para o litoral no trecho analisado. Após a abertura da auto-estrada, esta se tornou a alternativa principal para o litoral, representando uma rota mais direta, com maior capacidade e melhores condições de trafegabilidade do que a rodovia de pista simples. Com isso, a auto-estrada atraiu a maioria do volume de veículos na região e os motoristas passaram a utilizá-la habitualmente, sem interesse em procurar uma rota alternativa mesmo que esta fosse isenta de cobrança.

A renda dos usuários também é um fator importante a ser considerado na escolha de rota. Como a auto-estrada é pedagiada, os motoristas podem utilizar a rodovia de pista simples para evitar a cobrança. Assim, a disponibilidade para o pagamento da tarifa de pedágio pode ser diferenciada de acordo com a renda dos indivíduos. Contudo, dados sobre a renda são difíceis de serem coletados, pois na maioria das vezes apresentam distorções.

A partir das limitações encontradas e dos fatores não considerados na metodologia utilizada, uma pesquisa complementar é proposta. Essa pesquisa busca investigar alguns dos fatores não considerados e explicar os resultados da modelagem.

5.2 PESQUISA COMPLEMENTAR

Para tentar explicar a influência de alguns fatores nas estimativas da modelagem do tráfego, um questionário complementar foi elaborado a fim de investigar o relacionamento entre os princípios da técnica de Preferência Declarada com os modelos de alocação de tráfego. Como a aplicação prática deste estudo foi baseada em um cenário existente, usuários

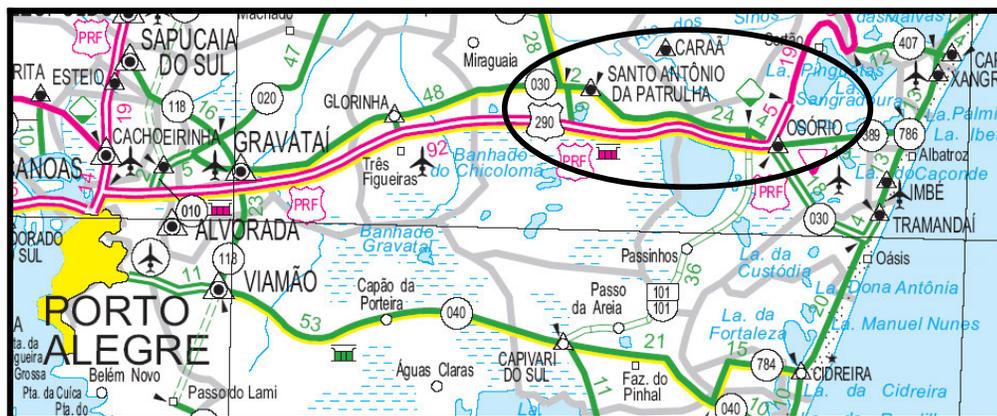
que utilizam esta rota foram questionados sobre o seu comportamento habitual quanto à escolha de utilização entre as rodovias consideradas.

A definição da amostra desta pesquisa complementar não seguiu nenhum rigor estatístico, buscou-se apenas investigar as relações dos usuários deste trecho com as rodovias analisadas. As questões iniciais do questionário foram referentes à faixa etária dos motoristas, o sexo e a frequência de utilização do trecho em questão. Estas questões foram feitas apenas como perguntas de controle.

As demais questões buscaram identificar: a utilização da rodovia de pista simples como rota alternativa a auto-estrada no trecho Santo Antônio da Patrulha - Osório, onde a auto-estrada possui cobrança de pedágio, os motivos pelo qual o usuário utiliza ou não a rodovia de pista simples, e o nível de conhecimento do usuário sobre a rodovia de pista simples com relação aos acessos de entrada e saída, a distância do trecho, as condições de pavimentação e sinalização e as condições de tráfego. A Figura 19 mostra o modelo do questionário aplicado aos motoristas entrevistados. Os nomes da auto-estrada e da rodovia de pista simples não são identificados na Figura 19, no entanto, foram informados para os respondentes na pesquisa aplicada.

QUESTIONÁRIO

<ul style="list-style-type: none"> • Idade () 18 – 30 anos () 30- 40 anos () 40 – 50 anos () mais de 50 anos • Sexo () Feminino () Masculino 	<p>1. Com que frequência você utiliza o trecho rodoviário Santo Antônio da Patrulha – Osório?</p> <p>() Frequentemente</p> <p>() Eventualmente</p> <p>() Somente em período de férias de verão</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



<p>2. No trecho rodoviário Santo Antônio da Patrulha – Osório, no qual a <u>auto-estrada</u> possui cobrança de pedágio, você utiliza a <u>rodovia de pista simples</u> como rota alternativa?</p> <p>() Sim</p> <p>() Não</p> <p>() Às vezes</p>	<p>3. Por que?</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------

4. Sobre a rodovia de pista simples, no trecho Santo Antônio da Patrulha – Osório, você conhece:

<p>Os acessos de entrada e saída</p> <p>() Sim</p> <p>() Não</p>	<p>A distância deste trecho</p> <p>() Sim</p> <p>() Não</p>
<p>As condições de pavimentação e sinalização</p> <p>() Sim</p> <p>() Não</p>	<p>As condições do tráfego (volume de veículos)</p> <p>() Sim</p> <p>() Não</p>

Figura 19: Modelo de questionário da pesquisa complementar

5.2.1 Execução e resultados da pesquisa complementar

Foram entrevistados 51 usuários que utilizam o trecho rodoviário entre os municípios de Santo Antonio da Patrulha e Osório. De acordo com as perguntas de controle, dentre os motoristas respondentes, 75% foram do sexo masculino e 25% do sexo feminino; 53% com idade entre 18 e 30 anos, 31% entre 30 e 40 anos, 12% entre 40-50 anos e 4% com mais de 50 anos. Aproximadamente 50% dos respondentes responderam que utilizam o trecho analisado apenas no período de férias de verão, 35% utilizam eventualmente e 15% utilizam freqüentemente.

As respostas, para termos de análise, foram divididas em usuários que utilizam a rodovia de pista simples como rota alternativa a auto-estrada sempre e às vezes, e usuários que nunca utilizam. Dentre os usuários que nunca utilizam, estes foram divididos entre os que conhecem totalmente a rodovia de pista simples, os que conhecem parcialmente e os que não conhecem. Essas divisões podem ser observadas na Figura 20 abaixo:

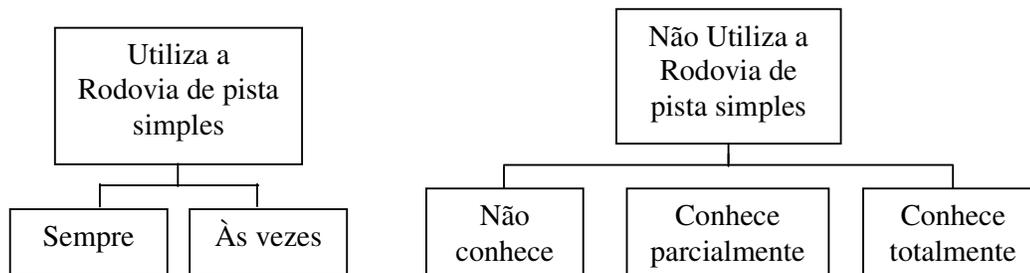


Figura 20: Esquema de análise da pesquisa complementar

Os resultados da pesquisa, com relação à utilização da rodovia de pista simples como rota alternativa a rodovia pedagiada podem ser observados na Tabela 22 abaixo:

Tabela 22: Resultados da pesquisa quanto à utilização da Rodovia de pista simples

Escolha da Rodovia de pista simples	%	Frequência de utilização da Auto-estrada	%
Utiliza	37	Sempre	6
		Às vezes	31
Não utiliza	63	Conhecimento sobre a Rodovia de pista simples	
		Total	2
		Parcial	24
		Nenhum	37

Dentre os usuários que utilizam a rodovia de pista simples sempre ou às vezes, puderam-se identificar duas razões principais: evitar a cobrança de pedágio e evitar congestionamentos devido ao alto fluxo de veículos na auto-estrada. Estes resultados podem ser observados na Tabela 23.

Tabela 23: Motivos pela utilização da Rodovia de pista simples

	Motivo	
	Frequência	
Utilizam a Rodovia de Pista Simples	Sempre	Evitar cobrança de pedágio (%)
	Às vezes	Evitar congestionamentos (%)
		100
		0
		50
		50

Dentre os usuários que não utilizam a rodovia de pista simples, mas conhecem essa alternativa parcialmente ou totalmente, podem-se identificar algumas razões principais para a não utilização: relação custo-benefício, evitar desviar da rota, qualidade superior da auto-estrada com relação à rodovia de pista simples em termos de pavimentação, segurança e serviços, economia de tempo e/ou distância de viagem. Entre os motoristas que não utilizam a rodovia de pista simples e desconhecem essa alternativa, o motivo para não utilizar é justamente a falta de conhecimento. Estes resultados podem ser observados na Tabela 24:

Tabela 24: Motivos pela não utilização da Rodovia de pista simples

Motivo					
	Falta de Conhecimento	Relação Custo/Benefício	Evitar desviar da rota	Qualidade da Auto-estrada	Economia tempo e/ou distância
Conhecimento					
Total	-	100%	0%	0%	0%
Parcial	-	17%	17%	33%	33%
Nenhum	100%	-	-	-	-

5.2.2 Análise dos resultados da pesquisa complementar

Os resultados da pesquisa complementar subsidiam a análise dos resultados da modelagem da escolha de rota dos motoristas realizada no capítulo anterior. A pesquisa indicou que a maioria dos usuários entrevistados não utiliza a rodovia de pista simples como rota alternativa à auto-estrada e não possuem conhecimento total sobre esta rota. A falta de

conhecimento pode ocorrer devido ao desinteresse dos usuários em desviar da sua rota habitual ou buscar mais informações sobre a rodovia.

Os usuários que por algum motivo não utilizam a rodovia de pista simples, sabendo ou não da sua existência como rota alternativa para evitar a cobrança de pedágio, possuem um comportamento fixo sobre a utilização de sua rota e, com isso, sua disponibilidade para utilizar uma rota alternativa é pouco provável. Esses motoristas deveriam ter sido considerados como uma classe de usuários inelástica na modelagem de alocação de tráfego uma vez que utilizam sempre a mesma alternativa e não possuem um critério de escolha de rota baseado nas relações de tempo, distância e valores monetários utilizadas pelos modelos.

A pesquisa de Preferência Declarada realizada neste estudo não excluiu o percentual de respondentes que não conhecem a alternativa da rodovia de pista simples ou que possuem um comportamento fixo quanto à utilização da auto-estrada. Os respondentes, ao escolherem entre as duas alternativas de rodovias basearam-se em situações hipotéticas e não nas alternativas existentes.

Com isso, a modelagem do fluxo de veículos na rede viária utilizou elementos que se baseiam em princípios diferentes, prejudicando os resultados alcançados. A metodologia proposta para este estudo possuiu um caráter genérico, ou seja, poderia ser aplicada a situações diversas como a análise de alternativas existentes, modificação de um sistema atual ou introdução de um sistema proposto. Contudo, ao analisar um sistema existente foi possível comparar os resultados da modelagem com a situação atual indicando que outros fatores devem ser considerados na modelagem de redes viárias com cobrança de pedágio e vias paralelas gratuitas de menor qualidade.

Através dos resultados da pesquisa complementar, apresentados na Tabela 22, e dos resultados da alocação de tráfego apresentados nas Figuras 13 a 18, torna-se possível estimar uma nova alocação de tráfego considerando os usuários que possuem comportamento inelástico quanto à escolha de rotas.

Para o período de férias de verão, 63% do fluxo de veículos pode ser considerado fixo na auto-estrada e, os 27% restantes, pode ser distribuído de acordo com os percentuais estimados na alocação de tráfego original entre a auto-estrada e a rodovia de pista simples. Para o período pós-férias, onde o fluxo de veículos é aproximadamente cinco vezes menor que no período de verão, além dos usuários de comportamento inelástico, os usuários que não utilizavam a auto-estrada devido ao congestionamento também podem ser alocados nesta via,

totalizando 82% dos usuários. Os 18% dos usuários restantes deve ser alocado de acordo com os percentuais estimados na alocação de tráfego original entre a auto-estrada e a rodovia de pista simples. Através destas considerações a nova alocação de tráfego nas vias avaliadas pode ser estimada.

Na rede viária simplificada, o fluxo de veículos estimado foi de 82 % na auto-estrada e 18 % na rodovia de pista simples no período de férias de verão e 86% na auto-estrada e 14% na rodovia de pista simples no período pós-férias. Para a rede viária detalhada, o fluxo de veículos foi de 78 % na auto-estrada e 22 % na rodovia de pista simples no período de férias de verão e 82 % na auto-estrada e 18 % na rodovia de pista simples no período pós-férias.

Os resultados da nova alocação de tráfego apresentam-se mais próximos dos fluxos observados nas vias do que na alocação original. Esta estimativa foi possível, pois as análises da rede viária simplificada e da rede viária detalhada concentram-se em apenas duas rotas. Em redes viárias mais complexas a alocação de tráfego deveria ser realizada novamente.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A malha viária brasileira é caracterizada por vias de qualidade heterogêneas. Geralmente, as rodovias em melhor estado de conservação possuem cobrança de pedágio. A implementação dos sistemas de cobrança deve propiciar uma circulação mais confortável e segura, e manter as tarifas em níveis aceitáveis para os usuários. Assim, a disponibilidade de um sistema de cobrança adequado pode otimizar o uso das estruturas e conseqüentemente, com benefícios para os usuários e as concessionárias.

Através da revisão bibliográfica foi possível constatar a escassez de trabalhos abrangendo, em um mesmo estudo, fatores como a influência da qualidade das rodovias e da cobrança de pedágio no comportamento dos motoristas. A consideração destes fatores em modelos de previsão de demanda pode subsidiar o planejamento e o gerenciamento mais adequado das estruturas viárias.

O objetivo geral deste estudo envolve a avaliação do comportamento do tráfego de veículos em redes viárias para diferentes classes de usuários a partir da sua percepção de custos. Buscou-se estimar a influência da cobrança de pedágio e da qualidade das rodovias na escolha de rota dos motoristas.

A metodologia foi composta de duas fases complementares antecedidas da definição da região de estudo e das classes de usuários avaliadas. A primeira fase buscou estimar os valores monetários dos atributos de tempo e distância de viagem através da técnica de Preferência Declarada. A segunda fase utilizou estes valores como parâmetros da função de custo generalizado de modelos de alocação de tráfego para estimar a escolha de rota usuários através da modelagem do fluxo de veículos.

A partir da metodologia proposta, uma aplicação prática foi realizada para demonstrar a aplicabilidade do modelo. A região de estudo foi o trecho rodoviário Santo Antônio da Patrulha – Osório, que representa uma rota para o litoral norte do Rio Grande do

Sul. As rodovias utilizadas no experimento foram uma auto-estrada, que possui cobrança de pedágio, e uma rodovia de pista simples que representa uma rota concorrente a auto-estrada sem cobrança de pedágio e de qualidade inferior. As classes de usuários avaliadas neste experimento foram motoristas de automóvel e caminhão de dois eixos, representando 83% do fluxo de veículos na auto-estrada e 77% na rodovia de pista simples respectivamente.

A técnica de Preferência Declarada utilizada no experimento buscou obter os valores monetários dos atributos de tempo e distância que cada classe de usuário percebeu nas rodovias avaliadas. Os atributos utilizados no experimento corresponderam aos fatores de qualidade das rodovias, a distância percorrida, o tempo de viagem e a cobrança de pedágio. Foram entrevistados 100 motoristas de cada classe. Na realização das entrevistas percebeu-se que muitos entrevistados apresentaram tendências em suas respostas, refletindo manifestações ideológicas e políticas com relação à cobrança de pedágio.

Após a obtenção dos dados da pesquisa de Preferência Declarada, os coeficientes dos modelos foram estimados com a utilização do pacote estatístico computacional SPSS através da função de distribuição logística. A significância dos coeficientes no modelo foi avaliada e, para as duas classes de usuários consideradas, as significâncias foram menores que 5%, exceto para a constante do modelo que estimou o custo/min para motoristas de automóvel.

Com a obtenção dos modelos foi possível estimar o valor monetário dos atributos para a rodovia de pista simples e para a auto-estrada. Com isso, obteve-se o custo/km e o custo/min que cada classe de usuário atribuiu a cada uma das rodovias. Após a estimativa destes fatores, procedeu-se a modelagem de alocação de tráfego no modelo computacional SATURN. Essa modelagem foi realizada para uma rede simplificada, contemplando apenas as duas rodovias no trecho em questão e em uma rede viária mais detalhada, contemplando a malha viária adjacente às rodovias analisadas em um trecho mais abrangente da região de estudo.

Na modelagem, para cada classe de usuário, foram atribuídos valores específicos de custo/km e custo/min e penalidades monetárias nos arcos da rede. As penalidades nos arcos foram referentes à cobrança de pedágio e às condições de qualidade da rodovia de pista simples percebida pelos usuários. As análises foram realizadas para os períodos de férias de verão, onde o fluxo de veículos é mais intenso e pós-férias.

Através dos resultados da alocação de tráfego na rede viária simplificada, para o período de férias de verão, a distribuição do fluxo horário de veículos foi estimada em 46%

das viagens alocadas na rodovia de pista simples e 54% na auto-estrada. Na rede viária mais detalhada, também para o período de férias de verão, a distribuição dos fluxos diários foi estimada em 60% dos veículos na rodovia de pista simples e 40% dos veículos na auto-estrada. As análises para o período pós-férias indicaram índices ainda mais baixos de utilização da auto-estrada. Estas estimativas não refletiram os dados de fluxo observados nas rodovias avaliadas. A distribuição do fluxo de veículos nas rodovias é de aproximadamente 20% na rodovia de pista simples e 80% na auto-estrada. Com isso, pode-se perceber que a modelagem realizada neste estudo não refletiu adequadamente as características de fluxo de veículos do ambiente viário analisado. A partir desta constatação buscou-se investigar os fatores que influenciaram os resultados da modelagem.

Uma das evidências analisadas foi a limitação da técnica de Preferência Declarada na estimativa dos valores monetários dos atributos. Essa limitação está relacionada ao fato das preferências dos respondentes derivadas das pesquisas estarem mais relacionadas às suas intenções do que seu comportamento habitual (FUJII; GARLING, 2002; KROES; SHELDON, 1988). A literatura reporta, que em alguns estudos que buscaram estimar o valor do tempo de viagem quanto à implantação de sistemas de cobrança de pedágio, os usuários subestimaram este valor em aproximadamente 50% (BROWNSTONE; SMALL, 2005; GOSH, 2000).

Além das possíveis limitações da técnica de Preferência Declarada, outros fatores foram investigados a fim de elucidar os resultados da modelagem. Um destes fatores está relacionado à estrutura da pesquisa de preferência declarada onde os valores monetários dos atributos de tempo e distância foram estimados em partes independentes na pesquisa. Contudo, na prática, estes atributos podem apresentar correlação para os usuários, ou seja, quando o tempo de viagem é avaliado, implicitamente a distância de viagem também é, e vice-versa.

Foram investigadas, ainda, as relações entre as considerações dos modelos de alocação de tráfego com a modelagem comportamental através da técnica de Preferência Declarada. Para isso, um questionário complementar foi elaborado. A definição da amostra de respondentes deste questionário não seguiu nenhum rigor estatístico, apenas buscou investigar o comportamento habitual dos usuários do trecho analisado com relação às rodovias consideradas.

Foram entrevistados 51 usuários que utilizam o trecho rodoviário entre os municípios de Santo Antônio da Patrulha e Osório. A pesquisa indicou que a maioria dos motoristas,

correspondentes a 63% dos entrevistados, não utiliza a rodovia de pista simples como rota alternativa a auto-estrada para evitar a cobrança de pedágio e a grande maioria não possui conhecimento total sobre esta alternativa. Os motivos mais citados para não utilização da rodovia de pista simples foram: a falta de conhecimento sobre a rodovia, a relação custo-benefício, evitar desviar da rota habitual, qualidade superior da auto-estrada com relação à rodovia de pista simples em termos de pavimentação, segurança e serviços, e economia de tempo e/ou distância de viagem. A maioria dos motivos relatados pelos entrevistados para não utilizar a rodovia de pista simples deveria ser captada pela pesquisa de preferência declarada. Questões como desconhecimento da via e evitar desviar de rota, entretanto, não seriam identificáveis por esta pesquisa. O grau de conhecimento dos usuários sobre o sistema viário é um fator importante no processo de escolha de rotas e precisa ser investigado através de outros levantamentos.

Dentre os motoristas que utilizam a rodovia de pista simples sempre ou às vezes, que corresponderam a 37% dos entrevistados, os motivos mais citados para sua utilização foram: evitar a cobrança de pedágio e evitar congestionamentos devido ao alto fluxo de veículos na auto-estrada.

Através dos resultados da pesquisa complementar, pode-se constatar que os usuários que não utilizam a rodovia de pista simples, independente do seu motivo ou conhecimento sobre a rodovia, possuem um comportamento fixo sobre a escolha da rota utilizada. Como na pesquisa de Preferência Declarada realizada, os respondentes, ao escolherem entre as duas alternativas de rodovias basearam-se em situações hipotéticas e não nas alternativas existentes, é possível que a pesquisa tenha subestimado o número de usuários com comportamento inelástico.

Através dos resultados da pesquisa complementar tornou-se possível estimar uma nova alocação de tráfego considerando-se os usuários que possuem comportamento inelástico quanto à escolha de rotas. Na rede viária simplificada, o fluxo de veículos estimado foi de 82% na auto-estrada e 18% na rodovia de pista simples no período de férias de verão e 86% na auto-estrada e 14% na rodovia de pista simples no período pós-férias. Para a rede viária detalhada, o fluxo de veículos foi de 78 % na auto-estrada e 22 % na rodovia de pista simples no período de férias de verão e 82 % na auto-estrada e 18 % na rodovia de pista simples no período pós-férias. Estes resultados apresentaram-se mais próximos dos fluxos observados nas vias do que na alocação original.

Assim, pode-se concluir que a modelagem do comportamento de diferentes classes de usuários em uma rede viária que possui rodovias com cobrança de pedágio e vias paralelas sem cobrança e de qualidade inferior depende de muitos fatores a serem analisados. Além disso, devem-se levar em consideração todos os princípios e limitação das técnicas e ferramentas utilizadas bem como a utilização conjunta destas.

Como sugestão, recomenda-se para trabalhos futuros o aprimoramento e desenvolvimento de técnicas para estimar os parâmetros utilizados nas funções de custo generalizado dos modelos de alocação de tráfego que avaliam sistemas de cobrança de pedágio. Para o aprimoramento da técnica de Preferência Declarada recomenda-se investigar o conhecimento dos usuários quanto às alternativas avaliadas atendendo ao pressuposto dos modelos de alocação de tráfego. Além disso, devem-se considerar as tendências nas repostas dos usuários que refletem suas intenções e não ao seu comportamento real.

Ainda, as funções de custo podem ser aperfeiçoadas com a utilização de métodos que consideram a variação no custo operacional dos veículos em vias de qualidades distintas como, por exemplo, o software para análise de projetos rodoviários HDM (*Highway Development and Management System*).

REFERÊNCIAS

- ABCR. **Relatório Anual**. São Paulo: ABCR, 2004. Disponível em: <<http://www.abcr.org.br/download/relatABCR2004br.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2005.
- ABCR. **Relatório Anual**. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.abcr.org.br/download/relatABCR2005br.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2005.
- AGRESTI, A. **An introduction to categorical data analysis**. New York: Wiley, 1996.
- ANTT. **Transporte de passageiros**. Associação Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/passageiro/apresentacaopas.asp>>. Acesso em: 20 ago. 2005.
- ARRUDA, J. B. F. Valor do tempo de viagem para avaliação de projetos de transportes no brasil: um estudo crítico comparativo. In: _____ **Transporte em Transformação: trabalhos vencedores do prêmio CNT de produção acadêmica 1996**. São Paulo: Makron Books, 1997.
- BATES, J. Econometric issues in stated preference analysis. **Journal of Transport Economics and Policy**, v.22, n.1, p.59-69, 1988.
- BHAT, C. R.; SARDESAI, R. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. **Transportation Research Part B**, v.40, n.9, p.709–730, 2006.
- BLIEMER, M. C. J.; BOVY, P. H. L. Quasi-variational inequality formulation of the multiclass dynamic traffic assignment problem. **Transportation Research Part B**, v.37, n.6, p.501–519, 2003.

BLIEMER, M.; VERSTEEGT, E.; CASTENMILLER, R. INDY: A new analytical multiclass dynamic traffic assignment model. In: TRIENNIAL SYMPOSIUM ON TRANSPORTATION ANALYSIS, 5., 2004, Le Gosier. **Proceedings**, Guadeloupe, p.37-56.

BOYCE, D. Forecasting travel on congested urban transportation networks: review and prospects for network equilibrium models. In: TRIENNIAL SYMPOSIUM ON TRANSPORTATION ANALYSIS, 5., 2004, Le Gosier. **Proceedings**, Guadeloupe, p.01-36.

BOYCE, D.; BAR GERA, H. Multiclass combined models for urban travel forecasting. **Networks and Spatial Economics**, v.4, n.1, p.115-124, 2004.

BRADLEY, M. Realism and adaptation in designing hypothetical travel choice concepts. **Journal of Transport Economics and Policy**, v.22, n.1, p.121-137, 1988.

BROWNSTONE, D.; SMALL, K. A. Valuing time and reliability: assessing the evidence from road pricing demonstrations. **Transportation Research Part A**, v.39, n. 4, p.279-293, 2005.

CALFEE, J.; WINSTON, C. **Practical considerations in estimating consumer preferences from stated preference data: a case study of the value of automobile travel time.**

Berkeley: University of California, 1997. Disponível em:

<<http://emlab.berkeley.edu/eml/nsf97/winston.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2005.

CASTRO, N. Os desafios da regulação do setor de transporte no Brasil. **Revista Brasileira de Administração Pública**, v.34, n.5, p.119-142, 2000.

CNT. **Pesquisa rodoviária.** São Paulo: CNT, 2006. Disponível em

<<http://www.cnt.org.br/informacoes/pesquisas/rodoviaria/2006>>. Acesso em: 22 ago. 2006.

CYBIS, H. B. B.; ARAÚJO, D.R.C.; LINDAU, L.A. Implantação de um modelo de simulação e alocação do tráfego em Porto Alegre. **Revista dos Transportes Públicos**, v.95 n.24, p.41-54, 2002.

FOWKES, T.; WARDMAN, M. Design of stated preference travel choice experiments with special reference to taste variations. **Journal of Transport Economics and Policy**, v.22, n.1, p.27-44, 1988.

FUJII, S.; GARLING, T. Application of attitude theory for improved predictive accuracy of stated preference methods in travel demand analysis. **Transportation Research Part A**, v.37 n.4, p.389-402, 2003.

GEIPOT. **Anuário estatístico dos transportes**: capítulo 5 - transporte rodoviário. Brasília: GEIPOT, 2001. Disponível em:
<<http://www.geipot.gov.br/anuario2001/rodoviario/rodo.htm>>. Acesso em: 10 out. 2005.

GHOSH, A. **Heterogeneity in value of time**: revealed and stated preference estimates from the I-15 congestion pricing project. Irvine: University of California, 2000. Disponível em:
<http://www.geocities.com/arindam_gho/vot.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2005.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GUJARATI, D. M. **Econometria Básica**, 3.ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

HOLLANDER, Y. Direct versus indirect models for the effects of unreliability. **Transportation Research Part A**, v.40, n.9, p. 699–711, 2006.

HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S. **Applied Logistic Regression**. New York: Wiley, 1989.

JORGE, R. R. **A influência das condições do pavimento no processo de escolha de rotas de viagens interurbanas**. Porto Alegre: UFRGS, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Transportes), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

KOCKELMAN, K. M. **A utility theory consistent system of demand equations approach to household travel choice**. Berkeley: UC, 1998. Thesis (Doctor in Civil and Environmental Engineering), University of California, 1998.

KROES, E. P.; SHELDON, R. J. Stated preference methods. **Journal of Transport Economics and Policy**, v.22, n.1, p.11-20, 1988.

LAM, W. H. K.; LI, Z. C.; HUANG, H. J.; WONG, S. C. Modeling time-dependent travel choice problems in road networks with multiple user classes and multiple parking facilities. **Transportation Research Part B**, v.40, n.5, p.368–395, 2006.

LASTRAN. **Avaliação do Impacto da Implantação de Concessões nas Rodovias do Rio Grande do Sul**. Laboratório de Sistemas de Transportes. Porto Alegre: UFRGS, 1998.

MASSON, T. M.; SMITH, W. S.; HURD, F. W. **Traffic engineering, civil engineering series**. New York: McGraw-Hill, 1955.

MAY, A. D.; LIU, R.; SHEPHERD, S. P.; SUMALEE, A. The impact of cordon design on the performance of road pricing schemes. **Transport Policy**, v.9, n.3, p.209-220, 2002a.

MAY, A. D.; MILNE, D. S. Effects of alternative road pricing systems on network performance. **Transportation Research Part A**, v.34, n. 6. p.407-436, 2000.

MAY, A. D.; SHEPHERD, S. P.; SUMALEE, A. Optimal locations for road pricing cordons. In: CONFERENCE ON ROAD TRANSPORT INFORMATION AND CONTROL, 11., 2002b, London, UK, **Proceedings**, p.619-621.

MILNE, D.S. **Modelling the network effects of urban road user charging**. Leeds: UL, 1997. Thesis (Doctor in Transport Planning and Engineering), University of Leeds, 1997.

MUN, S.; KONISHI, K.; YOSHIKAWA, K. Optimal cordon pricing in a non-monocentric city. **Transportation Research Part A**, v.39, n.7, p.723-736, 2005.

BHAT, C. R., and SARDESAI, R. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. **Transportation Research Part B**, v.40, n.9, p.709-730, 2006.

OPPENHEIM, N. **Urban travel demand modeling: from individual choices to general equilibrium**. New York: Wiley, 1994.

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling transport**. 3ed. Englend: Chichester, 2001.

PARK, Y.; HÁ, H. Analysis of the impact of high-speed railroad service on air transport demand. **Transportation Research Part E**, v.42, n.2, p.95-104, 2006.

PEARCE, D.; et al. **Economic valuation with stated preference techniques: summary guide**. London: Queen's Printer, 2002. Disponível em: http://comunities.gov.uk/pub/274/EconomicValuationwithStatedPreferenceTechniquesSummaryGuidePDF458Kb_id1142274.pdf. Acesso em: 08 out. 2005.

ROSA, A.; MAHER, M. Stochastic user equilibrium traffic assignment with multiple user classes and elastic demand. In: MEETING OF THE EURO WORKING GROUP ON TRANSPORTATION, 9., 2002, Bari, Italia. **Proceedings**, p.392 - 397.

SANTOS, G. Road pricing on the basis on congestion costs: consistent results from two historic UK towns. In: TRB ANNUAL MEETING, 79., 2000, Washington, US. **Proceedings**, p25-31.

SENNA, L. A. D. S. **User's response to travel time variability**. Leeds: UL, 1994. Thesis (Doctor in Transport Planning and Engineering), University of Leeds, 1994.

SMITH, M. J.; MAY, A. D.; WISTEN, M. B.; MILNE, D. S.; VAN VLIET, D.; GHALI, M. O. A Comparison of the network effects os four road-user charging systems. **Traffic Engineering and Control**, v.35, n.5, p.311-314, 1994.

SUMALEE, A.; MAY, T.; SHEPHERD, S. Comparison of judgmental and optimal road pricing cordons. **Transport Policy**, v.12, n.5, p.384-390, 2005.

VAN VLIET, D.; DOW, P. D. C. Capacity-restrained road assignment. **Traffic Engineering and Control**, v.20, n.6, p.296-305, 1979.

VAN VLIET, D.; HALL, M. **SATURN 10.5**: user manual. Leeds: Institute for Transport Studies - University of Leeds, 2004.

SPSS. SPSS Base 10.0: applications guide. Chicago: SPSS, 1999.

WARDMAN, M. Comparison of RP and SP models of travel behavior. **Journal of Transport Economics and Policy**, v.22, n.1, p.71-91, 1988

WARDROP, J.G. Some theoretical aspects of road traffic research. In.: PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS PART II, v.1, n.26, p.325-362, 1952.

YANG, H.; TANG, W. H.; CHEUNG, W. M.; MENG, Q. Profitability and welfare gain of private toll roads in a network with heterogeneous users. **Transportation Research Parte A**, v.36, n.6, p.537-554, 2002.