

# UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DA PREFERÊNCIA DECLARADA PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS USUÁRIOS DA RODOVIA BR-116 CONSIDERANDO A EXISTÊNCIA DE TARIFAS DIFERENCIADAS DE ACORDO COM O NÍVEL DE CONGESTIONAMENTOS

João Paulo Cardoso Joaquim

João Fortini Albano

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## RESUMO

Utilizando a técnica da Preferência Declarada, este estudo avaliou a probabilidade de usuários alterarem seu comportamento caso fosse adotado um sistema de cobrança variada em função dos níveis de congestionamentos. Adotando como cenário a rodovia federal BR-116, entre as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo, foram apresentadas aos usuários situações hipotéticas em que deveriam fazer a opção avaliando, simultaneamente, três variáveis: horário de saída, tempo de deslocamento e descontos na tarifa. Os resultados foram utilizados na calibração de um modelo *Logit Binomial* e obtenção de uma função de utilidade linear através do *software Statistical Package for Social Sciences* (SPSS). Após a validação do modelo obtido, chegou-se à conclusão de que descontos na tarifa e economia de tempo aumentam a probabilidade dos usuários mudarem seus hábitos. Por outro lado, quanto maior a defasagem entre o horário oferecido e o de sua preferência menor a probabilidade desse usuário optar pela troca.

## ABSTRACT

Using Stated Preference technique, this study evaluated the likelihood of users to change their behavior if adopted a collection system varied depending on the levels of congestion. Using as a backdrop the federal highway BR-116, between the cities of Porto Alegre and Novo Hamburgo, were presented to users hypothetical situations in which they should make an optional rating considering three variables: departure time, travel time and fare discounts. The results were used to calibrate a Logit Binomial model and obtaining a linear utility function via software Statistical Package for Social Sciences (SPSS). After validation of the model obtained, concluded that the discount rate and time savings increase the likelihood that users change their habits. On the other hand, the greater the lag between the offered time and the preferred time the less likely the user choose the time change.

## 1. INTRODUÇÃO

Em diversos países, a falta de melhorias no transporte público e a necessidade de deslocamentos cada vez maiores (por conta do espalhamento urbano) provocaram um grande aumento na posse individual de veículos. No Brasil, essas situações, aliadas ao aumento do crédito e redução nos preços de venda, têm resultado a cada ano em mais veículos nas ruas.

Aparentemente, do ponto de vista econômico e social, é uma situação animadora: as pessoas têm mais recursos, maior poder de compra e maiores possibilidades de acesso a bens que até pouco tempo atrás eram inatingíveis (automóveis, por exemplo). Isso é muito bom para a economia do país e para a população. Entretanto, o aumento da infraestrutura, de forma que possa comportar essa grande quantidade de veículos, enfrenta dois obstáculos: a falta de investimentos e a impossibilidade física de expansão, isto é, as vias não têm para onde crescer. Essa disparidade entre demanda e oferta gera os congestionamentos.

Estima-se que, considerando apenas 10 das principais capitais brasileiras, os custos associados aos congestionamentos (combustíveis, ambientais, atrasos etc.) tenham chegado a 75 bilhões de reais no ano de 2009 (equivalente a 2,4% do PIB) (CNT & COPPEAD/UFRJ, 2002).

A cada dia que passa fica mais evidente a necessidade da adoção de medidas que mudem esse panorama. Além da ênfase na melhoria dos transportes públicos, é necessário que sejam estudadas medidas para gerenciar e adequar o crescimento do volume de tráfego à capacidade viária disponível visto que, mesmo que o transporte público atinja níveis de excelência, sempre haverá quem prefira o transporte individual. Neste contexto se enquadra o *Congestion*

*Pricing*. Apesar de existirem experiências bem sucedidas, sua implantação fracassou algumas vezes devido, principalmente, ao desconhecimento sobre as bases de sua aplicação.

Este trabalho foi elaborado com objetivo de contribuir ao avanço do estudo desta ferramenta, através da descrição e compreensão do comportamento dos usuários de uma rodovia quando se propõe um sistema de cobrança variável de tarifa de acordo com o nível de congestionamentos. Para que os objetivos fossem alcançados, montou-se um experimento para coleta de dados com um grupo pré-definido de usuários de automóveis que trafegam pela rodovia BR-116 pelo menos uma vez por semana. O experimento consistiu na coleta de dados através da técnica da Preferência Declarada, largamente difundida como um modo convencional de se conhecer o comportamento de pessoas quando se defrontam com um problema em que precisam decidir a respeito de diversas alternativas.

Este documento está organizado da seguinte forma: a Seção 2 traz uma breve revisão sobre as técnicas de coletas de dados utilizadas em pesquisas na área de transportes e modelos comportamentais de escolha. Na Seção 3 é descrita a metodologia utilizada na elaboração da pesquisa e na Seção 4 seus resultados com os devidos comentários a respeito. Finalmente, na Seção 5 são apresentadas as conclusões e comentários finais do trabalho.

## **2. TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS E MODELOS COMPORTAMENTAIS**

Coletar dados através de técnicas de Preferência Declarada e Revelada é um modo convencional de se conhecer o comportamento de pessoas quando elas se defrontam com um problema em que devem optar entre diversas alternativas (Vieira, 1996). Apesar de ser fundamental na produção de dados necessários para elaborar os modelos matemáticos relacionados ao problema pesquisado, verificar esse comportamento não é uma tarefa simples.

### **2.1. Preferência Declarada e Revelada**

Gwillian (1997) coloca que as técnicas de Preferência Declarada e Revelada são eficientes métodos de verificação de escolhas individuais em pesquisas de qualquer natureza. A primeira é a que melhor estima o comportamento de escolha real de cada indivíduo, porém, além de ter um custo mais alto de aplicação, fornece apenas dados claros sobre a alternativa escolhida e não sobre a alternativa rejeitada. As pesquisas de Preferência Declarada têm menos despesas e maior clareza nos resultados por possibilitar uma grande variedade de cenários e trocas (*trade-offs*) aos pesquisados. Alguns estudos combinam esses os dois tipos de pesquisa na obtenção de dados para elaboração de modelos discretos de escolha (Tseng & Verhoef, 2008).

Uma das vantagens da elaboração de modelos a partir de dados de Preferência Declarada é que índices altos de correlação entre variáveis (situação indesejável na modelagem) podem ser evitados e, ao mesmo tempo, o número de variáveis do modelo também pode ser controlado, evitando situações de variáveis não observadas ou não desejadas (Caldas, 1998). Além disso, modelos resultantes dos dados da PD fornecem uma gama maior de informações sobre as preferências potenciais dos indivíduos, em comparação com a modelagem mais tradicional de Preferência Revelada que, apesar de gerar dados mais confiáveis baseados em respostas reais ao invés de resultados hipotéticos, fornece apenas uma observação (dado) por indivíduo. Ao mesmo tempo, como referido anteriormente, a PR é um método mais dispendioso que necessita de muitos participantes e no qual se avaliam apenas situações conhecidas, ao contrário da PD que pode ser empregada para a modelagem de situações hoje indisponíveis para os indivíduos (Senna & Michel, 2000; Kroes & Sheldon, 1988).

De acordo com Kroes & Sheldon (1988) as pesquisas de Preferência Declarada devem conter as seguintes etapas: definição do método de entrevistas e do contexto a qual vai ser aplicada, seleção da amostra, determinação de fatores relevantes na tomada de decisão, projeto das alternativas apresentadas aos respondentes, desenvolvimento do método para apresentação e coleta de dados do experimento, estimação do modelo, análise dos dados e teste de validade.

A apresentação para a coleta de dados para o experimento, segundo Bates (1991, *apud* Freitas, 1995) pode ser feita de três maneiras:

- a) escolha ou *choice*: um conjunto de alternativas é apresentado ao entrevistado e solicita-se apenas que ele escolha aquela alternativa que mais lhe agrada;
- b) ordenação ou *rating*: algumas alternativas são apresentadas simultaneamente ao entrevistado e pede-se que ele as coloque na ordem de sua preferência;
- c) avaliação ou *rating*: os entrevistados dão respostas individuais para cada alternativa. Normalmente a avaliação é feita com base nas preferências relativas entre as alternativas propostas através de escalas semânticas do tipo “certamente escolho a alternativa A, provavelmente escolho a alternativa A, sou indiferente, provavelmente escolho a alternativa B ou certamente escolho a alternativa B”. Essas respostas podem se interpretadas como uma medida da utilidade de cada alternativa.

Como poderá ser visto no decorrer do texto, neste estudo foi feita a opção pela coleta dos dados através do método de avaliação (*rating*) por ser um método que fornece, ao mesmo tempo, a ordem e o grau de preferência dos usuários.

## 2.2. Modelos Comportamentais de Escolha

Na área de transportes, os modelos desenvolvidos devem ter a capacidade de estimar que mudanças ocorreriam no padrão de utilização de um sistema ou infraestrutura (rodovias, hidrovias, sistema de transporte público etc.) em função da alteração de certos atributos. Esses modelos são construídos a partir de informações dadas por indivíduos com base em suas preferências e são chamados de *modelos comportamentais de escolha*. Citando especificamente os modelos de demanda, eles devem ser capazes de prever como os indivíduos mudariam suas escolhas em resposta à mudança de determinadas características de mercado. Entretanto, o valor desses modelos é normalmente limitado a alguns tipos de problemas sob condições específicas (Senna & Michel, 2000).

A análise das escolhas feitas é baseada na Teoria da Utilidade, que reproduz matematicamente as preferências de um indivíduo entre os elementos de um conjunto. A função de utilidade quantifica o valor de satisfação de um indivíduo, associando essa satisfação a um resultado. A teoria diz que as pessoas buscam a maximização da função de utilidade tendo em vista a restrição de alguns recursos. Os valores desta função permitem que se estabeleça uma comparação entre a utilidade de diferentes atributos considerados relevantes. Os modelos comportamentais desagregados resultantes dessa função possibilitam que sejam analisadas as escolhas de cada indivíduo frente a situações alternativas (Ben-Akiva & Lerman, 1985). A forma mais utilizada da função utilidade é a linear aditiva, expressada na Equação 1:

$$U_{in} = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ink} \quad (1)$$

em que  $U_{in}$  : é a utilidade da alternativa  $i$  para o indivíduo  $n$ ;  
 $X_{ink}$  : valor do atributo  $k$  para a alternativa  $i$  para o indivíduo  $n$ ;  
 $\beta_k$  : coeficiente do modelo para o atributo  $k$ ;  
 $K$  : quantidade de atributos de cada alternativa.

O modelo de escolha discreta mais utilizado para estimar os parâmetros da função utilidade em pesquisas de transportes é o *Logit* (Ben-Akiva & Lerman, 1985). A Equação 2 representa a sua forma funcional para o caso multinomial:

$$P_i = e^{U_i} / \sum_{j=1}^n e^{U_j} \quad (2)$$

em que  $P_i$  : é a probabilidade da alternativa  $i$  ser escolhida;  
 $e$  : base do logaritmo neperiano;  
 $j$  : alternativas consideradas;  
 $U_{i,j}$  : utilidades das alternativas consideradas

O modelo *Logit Multinomial* é aplicado em situações em que o número de opções é maior do que duas (p. ex. a escolha entre 3 modais de transporte diferentes). Nos casos em que análise considera a opção apenas entre duas alternativas têm-se um caso particular para o modelo, chamado *Logit Binomial* (Vieira, 1996; Ben-Akiva & Lerman, 1985).

Como visto na Equação 2, esses modelos são probabilísticos, isto é, através deles se tem a probabilidade que cada alternativa tem de ser escolhida. A avaliação do desempenho dos diversos modelos obtidos é feita através da análise dos sinais dos coeficientes obtidos nas funções estimadas, a significância das variáveis (*teste t de Student*) e o índice  $\rho^2$ , que é comparável ao coeficiente de correlação  $R^2$  utilizado na análise de regressões lineares. Estudos indicam que valores de  $\rho^2$  próximos a 40% podem ser considerados bons ajustes na utilização da Preferência Declarada (Ortúzar & Willumsen, 2001; Senna & Michel, 2000).

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

O método utilizado neste estudo procurou descrever e compreender o comportamento dos usuários de uma rodovia quando se propõe um sistema de cobrança variável de tarifa de acordo com o nível de congestionamentos.

#### 3.1. Cenário do Estudo

O cenário de estudo é a rodovia federal BR-116, no trecho entre os municípios de Porto Alegre e Novo Hamburgo no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1).



**Figura 1.** Localização e Configuração do Trecho Pesquisado

A rodovia BR-116 atravessa os principais pólos de desenvolvimento industrial do Estado e, de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2008) o volume de tráfego diário, atinge 130.000 veículos na região metropolitana de Porto Alegre.

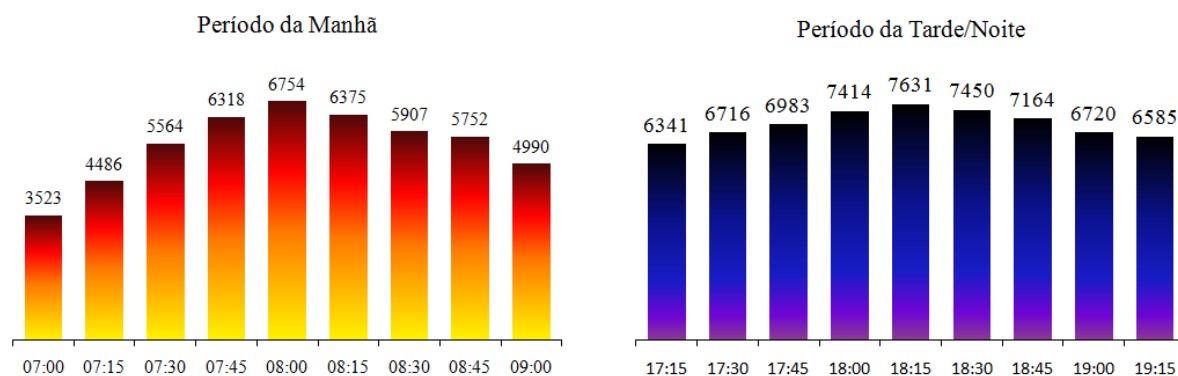
Segundo contagens feitas em 2007 pela Empresa Matricial Engenharia Consultiva, entre 6h e 22h passam 95.000 veículos pela seção mais carregada da rodovia – limite de Porto Alegre com o município de Canoas – correspondente a 6.000 veículos/hora. Significa que, nesta seção, a rodovia opera atualmente acima do Nível de Serviço “C”, havendo a necessidade de redução de praticamente 60% desse volume para que opere a um NS satisfatório (TRB, 2000).

**Tabela 1:** Distribuição do Tráfego na BR-116

Tipo de Veículo	Sentido	
	Norte – Sul	Sul - Norte
Automóvel	87,2%	83,9%
Caminhão	11,8%	15,1%
Ônibus	1%	1%

Como o foco do estudo eram os usuários de automóveis, os ônibus e caminhões, apesar terem boa representatividade no tráfego, não foram considerados na pesquisa.

Com relação à distribuição ao longo dia, a Figura 4 traz os volumes de tráfego atuais na seção mais carregada da rodovia.



**Figura 2.** Distribuição Horária do Tráfego na BR-116

O ponto que apresenta o maior volume de veículos localiza-se próximo ao acesso à cidade de Porto Alegre no limite com o município de Canoas. Os valores do referem-se ao total de veículos que passam pela seção, isto é, no sentido norte-sul e sul-norte.

### 3.2. Definição das Variáveis Analisadas e Seus Níveis

Na maioria das vezes os fatores que influenciam a decisão ou escolha do objeto de estudo são obtidos por meio de pesquisas prévias com o público alvo (Ortúzar, 2000). No entanto, para elaboração deste estudo, as variáveis inseridas no experimento foram determinadas a partir da hipótese de que o oferecimento de descontos na tarifa de congestionamento e a possibilidade de economia de tempo provocam mudanças nos hábitos dos usuários. Neste contexto, foram analisados 3 variáveis: o horário de saída/retorno, o tempo excedente devido aos congestionamentos e o desconto na tarifa, definidos nos seguintes níveis:

**Tabela 2:** Variáveis e Níveis

Variável	Níveis
$H_s$ Horário Atual de Saída	$H_s (+/-)$ 30 Minutos $H_s (+/-)$ 60 Minutos
$T_{EC}$ Tempo Excedente devido aos Congestionamentos	$T_{EC} (-)$ 50% $T_{CONGESTIONAMENTO}$ $T_{EC} (-)$ 100% $T_{CONGESTIONAMENTO}$
$C_p$ Tarifa de Congestionamento = R\$ 4,00	Desconto 20% = R\$ 3,20 Desconto 50% = R\$ 2,00 Desconto 100% = Sem Tarifa

A definição dos níveis da variável “Horário Atual de Saída” foi baseada na atual distribuição do fluxo horário na rodovia: nos picos da manhã e da tarde/noite a alteração desses picos só começa a ser percebida com uma defasagem de 30 minutos. Isto significa que se o usuário mudasse o seu horário atual em um tempo menor do que 30 minutos continuaria dentro de uma “faixa de horário congestionada”. Por exemplo, foi observado que o pico da manhã ocorre às 8h. Entre 7h30min e 8h30min o fluxo tem uma variação pequena e, nesse caso, a troca de horário dentro desta faixa não teria efeito significativo. Porém, antes das 7h30min e depois das 8h30min o volume é menor, sendo mais interessante para o funcionamento do sistema que uma parcela dos usuários faça a troca para antes ou depois desses horários.

Apesar das variáveis analisadas neste estudo terem sido definidas com base no funcionamento do sistema de precificação, os níveis foram determinados a partir de uma pesquisa anterior com o público alvo. Foram obtidos dados sobre os deslocamentos como distâncias percorridas, tempos de deslocamento e disposição dos usuários em pagar para reduzir seus tempos de percurso. O objetivo foi tentar de alguma forma “parametrizar” o experimento que foi desenvolvido. Essa pesquisa assegurou que os usuários têm a percepção correta do tempo excedente nos seus deslocamentos devido aos congestionamentos e esse foi um dado importante considerando que o modelo desenvolvido tem relação direta com esse tempo. Com relação à tarifa aplicada, tomou-se como base o valor médio que os usuários estariam dispostos a pagar pelo benefício de economia de tempo (valor que está relacionado a uma economia de aproximadamente 25 minutos). Como visto na Tabela 2 foram definidos apenas dois níveis para as variáveis de Horário Atual de Saída e Tempo Excedente e três níveis para a Tarifa de Congestionamento. Sendo assim, foi aplicado o fatorial completo na elaboração da pesquisa aplicada resultando em 12 situações diferentes (Malhotra, 2001).

### 3.3. Coleta, Registro e Tratamento dos Dados

A coleta dos dados foi feita através de um questionário inicial contendo 10 perguntas sobre os usuários e, na seqüência deste questionário, foi aplicada a pesquisa de Preferência Declarada (Figura 3) na qual foi perguntado qual seria a opção do usuário diante de cada uma das situações colocadas.

*Qual seria sua opção diante das seguintes alternativas?*

	Horário de Saída	Tempo de Deslocamento	Tarifa	
<b>A</b>	Sair no <b>MESMO</b> horário em que sai atualmente	<b>TEMPO ATUAL</b> Tempo de Deslocamento Normal + Tempo Excedente no Congestionamento	R\$ 4,00	<input type="radio"/> CERTAMENTE continuaria com a Opção A <input type="radio"/> TALVEZ continuasse com a Opção A <input type="radio"/> INDIFERENTE
<b>B</b>	Sair <b>30 Minutos</b> Antes ou Depois	Praticamente Eliminar o Tempo Excedente no Congestionamento ↓ <b>Apenas o Tempo de Deslocamento Normal</b>	R\$ 2,00	<input type="radio"/> TALVEZ trocasse para a Opção B <input type="radio"/> CERTAMENTE trocaria para a Opção B

**Figura 3.** Exemplo de Cartão da Pesquisa de Preferência Declarada

Foi feita a opção pela utilização da Escala de *Likert* para que o usuário marcasse qual seria sua opção. Gil (2008) destaca que esta escala é simples e tem caráter ordinal, isto é, não mede quanto uma atitude é mais ou menos favorável e sim o grau de concordância ou discordância dos participantes em relação ao enunciado da questão.

O questionário foi elaborado através de uma ferramenta de pesquisa *online* (*KwikSurveys*) disponibilizada na *internet* e enviado a pessoas previamente selecionadas por serem usuárias da rodovia e, a princípio, a única restrição era que fossem usuárias de automóveis. Isso se justificou pelo fato de que o sistema de tarifação em estudo visa proporcionar uma melhor distribuição da demanda existente na infraestrutura e, portanto, não seria interessante trazer de volta ao fluxo aqueles que atualmente utilizam o transporte público (ou outro modo) para evitar os constantes congestionamentos na rodovia. A próxima Seção traz os resultados da pesquisa com os devidos comentários e discussões.

#### 4. RESULTADOS E ANÁLISES

O tamanho total da amostra da pesquisa (incluindo a pesquisa piloto) foi de 142 entrevistados, porém alguns questionários foram descartados devido ao fato de não terem sido preenchidos corretamente ou os entrevistados terem sido totalmente inflexíveis a qualquer troca oferecida, marcando sempre a mesma opção. Ao final desse ajuste a amostra que gerou os dados utilizados na modelagem foi de 95 entrevistas (totalizando 1140 observações), valor dentro do recomendado por Ortúzar & Willumsen (2001) para pesquisas desse tipo. Além destas, outras 30 entrevistas foram utilizadas para validar o modelo, totalizando 125 questionários aplicados.

##### 4.1. Função Utilidade e Modelos Estimados

A escolha de cada indivíduo, entre optar pela troca para um horário com descontos na tarifa e, teoricamente, economia de tempo ou continuar saindo no mesmo horário pagando o valor integral da tarifa e levando o mesmo tempo, pode ser representada por uma função de utilidade linear associada a um modelo *Logit* em sua forma *Binomial*. Tal modelo pode ser linearizado e ter seus coeficientes ajustados por meio de regressões múltiplas com seus resultados sendo válidos para analisar a probabilidade de troca de alternativas no contexto em que foram oferecidas (Lima Jr., 2007; Ben-Akiva & Lerman, 1985).

Adotando o procedimento de ajuste através da regressão múltipla com o *software Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) chegou-se aos seguintes resultados:

**Tabela 3:** Resultados obtidos no SPSS

Variável	Coefficiente $\alpha$	Erro	Teste t
Constante	0,813	0,181	4,483
Defasagem do Horário de Saída	-0,035	0,003	-11,315
Economia do Tempo Excedente	0,005	0,004	1,94
Desconto na Tarifa de Congestionamento	0,378	0,035	10,868
1140 Observações	$R_{\text{MÚLTIPLO}} : 0,49$		$R^2 : 0,24$
			$R^2_{\text{AJUSTADO}} : 0,23$

A função de utilidade obtida pode ser expressa por:

$$U = 0,813 - 0,035 \times H_S + 0,005 \times T_{EC} + 0,378 \times \Delta C_P \quad (3)$$

em que:  $U$  : é o valor da função de utilidade;

$H_S$  : defasagem entre o horário de saída atual e o oferecido;

$T_{EC}$  : economia do tempo excedente nos deslocamentos;

$\Delta C_P$  : desconto na tarifa de congestionamentos.

Os sinais positivos e negativos obtidos na Equação 3 foram coerentes com a situação apresentada, uma vez que, a utilidade da “mudança” será menor com o aumento da diferença entre o horário de saída atual do usuário e o horário oferecido. Isto significa que quanto mais se distancia do horário em que sai habitualmente (antes ou depois) menor será o “interesse” do indivíduo em alterar sua saída. Situação representada pelo sinal negativo. O mesmo se aplica

ao outros dois atributos: o sinal dos coeficientes indica que a economia de tempo e o desconto na tarifa produzem um efeito positivo na função de utilidade.

Para fins de comparação, foram estimados modelos alternativos considerando as viagens por motivo trabalho e não-trabalho. Na Tabela 4 estão descritos os resultados encontrados:

**Tabela 4:** Resultados Motivo Trabalho e Não-Trabalho

Variável	Motivo Trabalho		Motivo Não-Trabalho	
	Coef.	Teste t	Coef.	Teste t
Constante	0,822	3,637	0,886	2,859
Defasagem do Horário de Saída	-0,035	-9,144	-0,033	-6,656
Economia do Tempo Excedente	0,009	1,748	0,006	0,689
Desconto na Tarifa de Congestionamento	0,365	8,255	0,405	7,075
Observações	684		456	
R <sub>MÚLTIPLO</sub>	0,48		0,48	
R <sup>2</sup>	0,23		0,23	
R <sup>2</sup> <sub>AJUSTADO</sub>	0,22		0,22	

Considerando um nível de significância de 0,10 (ou seja, 90% de confiança), os valores obtidos para o *teste t* mostram que os coeficientes obtidos nos diferentes modelos são significativos. A exceção foi a variável “Economia de Tempo”, obtida no modelo não-trabalho, que apresentou um valor abaixo de 1,65 (valor mínimo para que um atributo seja considerado importante na modelagem com o nível de confiança definido) logo, esta variável poderia ou não ser incluída no modelo sem que existisse grande perda na sua qualidade (Hair *et al.*, 2006) ou ser aceita a um nível de significância de 50% (valor do *teste t* igual a 0,674).

Quanto ao grau de ajustamento do modelo, foram obtidos valores muito próximos para o coeficiente R<sup>2</sup> nas três situações consideradas: 0,23 para o modelo geral e 0,22 para os motivos trabalho e não-trabalho. Nos casos de análise de regressões múltiplas como a que se propôs neste estudo, o coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) é tido como um dos principais indicadores do grau de precisão do ajuste feito. Apesar de valores de R<sup>2</sup> próximos a “1” indicarem um bom ajuste, deve-se levar em consideração se as variáveis satisfazem o modelo. Sendo assim, a importância deste parâmetro em modelos de regressão acaba sendo secundária já que, os sinais dos coeficientes da regressão e sua significância estatística e/ou prática são mais relevantes. De acordo Gujarati (2006), o R<sup>2</sup> é apenas uma medida de ajuste em um conjunto de dados e não há uma “exigência” de que este coeficiente deva ser alto. Logo, valores altos para o R<sup>2</sup> não significam uma evidência favorável ao modelo e nem que valores baixos devam ser adotados como determinantes para descartar o modelo encontrado.

Outro indicativo de consistência do modelo é a colinearidade. Se as variáveis utilizadas no modelo tiverem entre si uma relação muito forte as inferências baseadas no modelo de regressão podem ser errôneas ou pouco confiáveis. Foi verificado nos modelos gerados que essa relação foi sempre menor do que 10 e, segundo Ferreira (1999), pode ser considerado que, apesar de duas variáveis estarem relacionadas com o tempo, a colinearidade entre as variáveis do modelo é insignificante.

#### 4.2. Elasticidades

Para medir a sensibilidade da opção dos usuários em relação a cada variável utilizou-se o conceito da elasticidade da probabilidade de escolha, que indica qual a mudança percentual na probabilidade do usuário escolher uma alternativa em função de uma mudança marginal no



valor de um dos atributos da função utilidade (Ortúzar & Willumsen, 2001). Esta elasticidade pode ser expressa pela Equação 4:

$$E_{P_{iq}X_{ikq}} = \theta_{ik} \times X_{ikq} \times (1 - P_{iq}) \quad (4)$$

em que:  $E_{P_{iq}X_{ikq}}$  : é a elasticidade das variáveis;

$\theta_{ik}$  : valor do coeficiente da variável  $X_i$  na opção de troca;

$X_{ikq}$  : valor da variável na opção oferecida;

$P_{iq}$  : probabilidade da alternativa ser escolhida.

Após o cálculo da elasticidade para cada observação foi feita a enumeração amostral para obtenção da elasticidade agregada:

$$E_{P_{ij}X_{ikj}} = \sum P_{ij} \times E_{P_{ij}X_{ikj}} / \sum P_{ij} \quad (5)$$

Na Equação 5 o índice  $j$  garante a cobertura de todos indivíduos da amostra. Os resultados deste procedimento estão colocados na Tabela 5:

**Tabela 5: Elasticidades**

Variáveis Independentes	Elasticidades		
	Geral	Trabalho	Não-Trabalho
Horário de Saída Atual	-0,431	-0,721	-0,427
Economia do Tempo Excedente	0,022	0,034	0,024
Desconto na Tarifa de Congestionamentos	0,195	0,325	0,196

No modelo geral estimado (que não faz distinção entre os motivos dos deslocamentos), a variável Horário Atual de Saída apresentou elasticidade da probabilidade de troca de 0,431 para a alternativa oferecida. Isto significa que, para uma mudança de 1% (em minutos) no horário de saída atual dos indivíduos, a probabilidade da troca ser feita se reduz em 0,431 (sinal negativo da elasticidade). O sinal positivo das outras variáveis implica no aumento da probabilidade de mudança em função do incremento dessas variáveis.

Nos outros modelos, indivíduos cujo motivo de deslocamento é o trabalho, demonstraram que a alteração do seu horário de saída resultaria em probabilidades menores de mudança do que por motivos não-trabalho (0,721 e 0,427 respectivamente). Situação coerente com a realidade, normalmente, horários de compromissos de trabalho são menos flexíveis do que os demais.

#### 4.3. Valores de Tempo

Em países desenvolvidos, abordagens convencionais do valor do tempo consideram que a maioria das pessoas trabalha em empregos “formais” e que suas viagens são divididas em duas categorias: trabalho e outros motivos (ITT, 2001), assim como feito neste estudo. Para viagens a trabalho o valor da economia de tempo pode ser calculado subjetivamente através de pesquisas de preferência ou diretamente com base na renda do indivíduo.

Neste estudo, os valores do tempo foram estimados diretamente pela relação entre os coeficientes dos modelos encontrados. Os valores encontrados para as viagens com motivo trabalho foram R\$ 0,10/minuto para o tempo em que o indivíduo está em casa/trabalho e R\$ 0,02/minuto para o tempo em que ele está no tráfego. Para viagens com motivo não-trabalho esses valores foram R\$ 0,08/minuto (em casa/trabalho) e R\$ 0,01/minuto (no tráfego).

#### 4.4. Validação dos Modelos

Após a geração dos modelos, com objetivo de observar se seriam equivalentes para toda a população analisada (demais usuários da rodovia BR-116) foi feita a validação (Tabela 6) do

modelo geral – assumiu-se que os modelos separados por motivo de deslocamento seguiriam a mesma tendência. Entre os métodos encontrados na literatura optou-se pelo *cross-validation* (validação cruzada) que consiste na subdivisão da amostra original utilizando uma parte para a definição do modelo e outra para validação (Hair *et al.*, 2006).

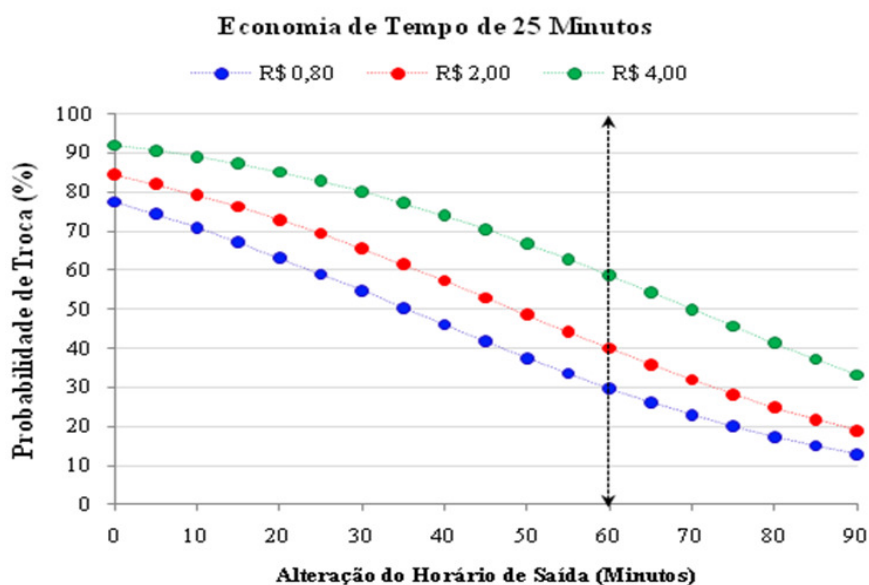
**Tabela 6: Validação do Modelo Geral**

Cartão	$\Delta H_S$	$\Delta T_{EC}$	$\Delta R\$$	$\Delta T_{MÉDIO}$	$P_{ENCONTRADA}$	$P_{ESTIMADA}$	Erro
1	30	50%	R\$ 0,80	11,63	48,20%	53,40%	5,20%
2	30	50%	R\$ 2,00	11,63	67,40%	64,40%	3,00%
3	30	50%	R\$ 4,00	11,63	77,90%	79,40%	1,50%
4	30	100%	R\$ 0,80	23,26	50,20%	54,90%	4,70%
5	30	100%	R\$ 2,00	23,26	68,30%	65,70%	2,60%
6	30	100%	R\$ 4,00	23,26	79,10%	80,30%	1,20%
7	60	50%	R\$ 0,80	11,63	33,50%	28,90%	4,60%
8	60	50%	R\$ 2,00	11,63	41,30%	39,00%	2,30%
9	60	50%	R\$ 4,00	11,63	55,70%	57,60%	1,90%
10	60	100%	R\$ 0,80	23,26	36,10%	30,10%	6,00%
11	60	100%	R\$ 2,00	23,26	43,60%	40,40%	3,20%
12	60	100%	R\$ 4,00	23,26	56,30%	59,10%	2,80%

O procedimento adotado foi simples: verificou-se, através do modelo gerado, qual seria a probabilidade do indivíduo fazer a troca em cada situação oferecida (indicada pelo campo “Cartão” e representada pelas variações em cada atributo) e o valor encontrado foi confrontado com o verificado nas respostas dadas na amostra de validação. Ao final da análise pode-se considerar que os modelos foram satisfatórios, tendo em vista os valores de erros encontrados (média de 3,35% com desvio padrão de 1,54%).

#### 4.5. Distribuição de Probabilidades

Após a obtenção e validação dos modelos foram calculadas e representadas graficamente as probabilidades de troca de horário (que foi a proposta do trabalho) para os 3 níveis de descontos oferecidos e considerando uma economia de tempo de 25 minutos. Os resultados, obtidos para o modelo geral, estão ilustrados na Figura 4.



**Figura 4.** Distribuição de Probabilidades da Opção de Troca de Horário

Cabe salientar que a distribuição de probabilidades foi representada para uma economia de tempo de 25 minutos apenas por esta ser a opção que foi indicada na pesquisa com mais frequência e estar muito próxima do tempo médio (24 min.) perdido nos congestionamentos.

A Figura 4 representa a seguinte situação: supondo que o objetivo seja fazer com que o usuário altere seu horário de saída em 60 minutos e se adote R\$ 4,00 como valor de tarifa de congestionamentos, sendo os descontos oferecidos na tarifa iguais a 20%, 50% e 100% (representados pelas curvas azul, vermelha e verde, respectivamente) as probabilidades desse usuário mudar seu horário são:

- a) 29,74% para um desconto de 20% (tarifa de R\$ 3,20);
- b) 39,99% para um desconto de 50% (tarifa de R\$ 2,00);
- c) 58,66% caso não haja cobrança de tarifa.

Conforme foi colocado, esses valores referem-se àqueles usuários que perdem em média 25 minutos em cada trajeto (ida ou volta) diário. Obviamente, o indicador “tempo economizado” serve apenas como base para o tipo de análise que foi proposta neste estudo, não devendo ser utilizada como balizador para implantação deste tipo de sistema por diversos motivos, entre eles, a dificuldade de se obter esse tempo individual (somente o usuário conhece seu tempo excedente) e a alta variabilidade associada (o tempo excedente de um mesmo usuário pode ser diferente a cada dia, devido a fatores climáticos, condições do tráfego etc.)

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste estudo, a julgar pelos coeficientes encontrados na função utilidade e na elasticidade, constatou-se que as pessoas são menos flexíveis à mudança do horário de saída que julgam ser o ideal para seus compromissos. De certa forma, são resultados coerentes: no período da manhã, sair antes é uma atitude indesejável porque as pessoas não querem esperar pelo início dos seus compromissos e, nesse caso, ficar mais tempo em casa seria o mais desejado. Ainda no período da manhã, sair mais tarde do que o habitual pode gerar atrasos devido à incerteza em relação aos congestionamentos. No período da tarde/noite a situação se diferencia pelo fato de, geralmente, as pessoas não poderem sair antes que terminem seus compromissos e sair depois pode significar chegar mais tarde em casa ou na sua próxima atividade.

Com relação ao que foi proposto na pesquisa como “economia do tempo excedente devido aos congestionamentos”, os usuários demonstraram menor atração por esse benefício logo, ele apresentou baixa influência na decisão do usuário em relação à troca de horário. Os usuários podem ter feito esse julgamento pelo fato desse tempo economizado ser teórico, isto é, não há como garantir que não haveria congestionamentos em caso de troca de horário.

Essas duas situações se refletem nos valores encontrados: em deslocamentos por motivos de trabalho o valor do tempo em casa é de R\$ 0,10/minuto e o valor do tempo que poderia ser economizado é de R\$ 0,02/minuto. Para deslocamentos por motivos que não são de trabalho, os valores para esses tempos são de R\$ 0,08/minuto e R\$ 0,01/minuto, respectivamente.

Como foi colocado ao longo do texto, o valor adotado como “tarifa-pico” foi obtido através de uma pesquisa prévia com outros usuários da mesma rodovia. Em relação aos valores de pedágio de outras rodovias localizadas no entorno da BR-116, o valor da tarifa adotada no experimento é mais baixo, mas produziu resultados significativos para o estudo. O atributo “custo” foi considerado relevante na escolha entre continuar saindo no mesmo horário ou sair antes/depois e obter descontos na tarifa.

Obviamente, por ser um trabalho acadêmico, os usuários se sentem mais confortáveis em aceitar a cobrança por pensarem que não existe a possibilidade desse sistema ser implantado. Entretanto, a percepção em relação ao valor do seu tempo e sua disponibilidade em pagar para reduzir seus tempos de deslocamento podem ser julgadas coerentes com o que foi apresentado na pesquisa e obtido nos modelos encontrados para o comportamento desses usuários.

Finalmente, não era a pretensão deste estudo resolver a questão dos congestionamentos, visto que, existem diversas variáveis envolvidas (opção no transporte público, implantação, questões políticas etc.) mas sim, contribuir com o estudo da precificação de vias públicas utilizada para o gerenciamento de demandas. Porém, os resultados demonstraram ser possível, em conjunto com outras ferramentas, adotar a tarifa de congestionamentos para amenizar o problema e isso foi evidenciado pela validação do modelo gerado com os dados coletados.

## REFERÊNCIAS

- Ben-Akiva, M.; Lerman S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis. Theory and Application to Travel Demand*. The MIT Press, 390p. England, 1985.
- Caldas, M. A. F. (1998) Curso de Modelagem com Dados de Preferências Reveladas e Declaradas. XII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Fortaleza.
- Confederação Nacional de Transporte – CNT e Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPEAD/UFRJ (2002) *O Caminho para o Transporte no Brasil*, 2002.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2008) Programa BR-116 Via Expressa e Rodovia do Parque. Superintendência Regional no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.
- Ferreira, A. M., (1999) SPSS – Manual de Utilização. Escola Superior Agrária – Instituto Politécnico de Castelo Branco, 1999. Disponível em: <http://www.esef.ufrgs.br/gpat/spss.pdf> Acesso em: Ago. 2010.
- Gil, A. C. (2008) *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 6ª. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- Gujarati, D. (2006) *Econometria Básica*. 4ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- Gwilliam, K. M. (1997) *The Value of Time In Economic Evaluation of Transport Projects*. EUA. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/td-ot5.pdf> Acesso em: Set. 2010.
- Hair, J. F., Anderson, R. E. Tatham, R. L., Black, W. C. (2006) *Análise Multivariada de Dados*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- IT Transport - ITT (2001) *The Value of Time in Least Developed Countries: Final Report*. Ardington, Inglaterra. Disponível em: [www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/documents/publication/8338.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/documents/publication/8338.pdf) Acesso em: Ago. 2010.
- Kroes, E.P.; Sheldon, R.J. (1998) *Stated Preference Methods: An Introduction*. Journal of Transport Economics and Policy, England: Pergamon. v.22, n.1, p.11-25, Jan.1988. Disponível em: [http://www.bath.ac.uk/e-journals/jtep/pdf/Volume\\_XX11\\_No\\_1\\_11-25.pdf](http://www.bath.ac.uk/e-journals/jtep/pdf/Volume_XX11_No_1_11-25.pdf) Acesso em: Dez. 2010.
- Lima Jr., A. B. (2007) *Viagens Park and Ride por Motivo Trabalho: Estudo de Caso na Cidade de São Paulo*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenharia de Transportes. 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/162933/pt-br.php> Acesso em: Out. 2010.
- Malhotra, N. K. (2001) *Pesquisa de Marketing: uma Orientação Aplicada*. 4ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- Ortúzar, J. D. *Modelos Econométricos de Elección Discreta*. Universidad Católica de Chile, 2000.
- Ortúzar, J.D.; Willumsen, L.G. (2001) *Modelling Transport*. 2.ed., England: Chichester, 375 p. 2001.
- Senna, L. A. S.; Michel, F. D. (2000) A Aceitação do Pedágio por Parte dos Usuários Gaúchos. *Revista Transportes*, v. 8, n. 2, p. 10-31, 2000. Nov. 2010.
- Transportation Research Board – TRB (2000) *Highway Capacity Manual*. Special Report 209, National Research Council, Washington, DC, EUA. 4ª ed. revised.
- Tseng, Y. Y., Verhoef, E. T. (2008) Value of Time of Day: A Stated-Preference Study. *Transportation Research Part B: Methodological* Volume 42, Issues 7-8, August 2008, Pages 607-618. Disponível em: <http://dare.uvu.vu.nl/bitstream/1871/11157/1/07061.pdf> Acesso em: Jul. 2010.
- Vieira, H.F. (1996). *Uma Visão Empresarial do Processo de Exportação de Produtos Containerizados Catarinenses e a Análise do Nível de Serviço Logístico*. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/disserta96/helio/indice/index.htm> Acesso em: Dez. 2010.

---

João Paulo Cardoso Joaquim (jpc\_eng@hotmail.com)

João Fortini Albano (albano@adufgrs.ufrgs.br)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Transportes

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5º andar – CEP 90035-190. Porto Alegre, RS, Brasil