

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

Bernardo Meditsch Raymundo

**ATUALIZAÇÃO DA ANÁLISE DA VIABILIDADE DO
METRÔ DE PORTO ALEGRE: DE 1997 A 2010**

Porto Alegre
junho 2010

BERNARDO MEDITSCH RAYMUNDO

**ATUALIZAÇÃO DA ANÁLISE DA VIABILIDADE DO
METRÔ DE PORTO ALEGRE: DE 1997 A 2010**

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

Orientador: Luiz Afonso dos Santos Senna

Porto Alegre
junho 2010

BERNARDO MEDITSCH RAYMUNDO

**ATUALIZAÇÃO DA ANÁLISE DA VIABILIDADE DO
METRÔ DE PORTO ALEGRE: DE 1997 A 2010**

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

Porto Alegre, junho de 2010

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

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna (UFRGS)
PhD University of Leeds/UK

Profa. Raquel da Fonseca Holz (UFRGS)
Msc pela Universidade Federal de Rio Grande/RS

Prof. Fernando Dutra Michel (UFRGS)
Msc pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro/RJ

Dedico este trabalho a meus pais, Ricardo Holmer Raymundo e Maria Aparecida Meditsch Raymundo, que sempre me apoiaram nas minhas realizações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna, orientador deste trabalho, pelo empenho e preocupação que teve em ajudar-me a realizar um bom trabalho.

Agradeço aos meus pais por me darem suporte durante todo o decorrer do curso universitário, pouRANDO-ME de preocupações para um melhor desempenho acadêmico.

Agradeço à minha madrinha pela grande ajuda na reta final do curso de graduação, sempre apoiando-me no que foi preciso.

Agradeço ao Engº Marcio Saueresig pela disponibilização do seu tempo, contribuindo intelectualmente ao trabalho.

Agradeço ao Prof. Fernando Dutra Michel pela ajuda na definição e julgamento de parâmetros utilizados no trabalho.

Temos o destino que merecemos.
O nosso destino está de acordo com os nossos méritos.

Albert Einstein

RESUMO

RAYMUNDO, B. M. *Atualização da Análise da viabilidade do metrô de Porto Alegre: de 1997 a 2010.* 2010. 65 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O grande aumento do tráfego na cidade de Porto Alegre nos últimos anos está gerando congestionamentos cada vez maiores em tempo e extensão. Frente a este problema, faz-se necessário o estudo de um meio de transporte de alta capacidade no contexto urbano. Através das Pesquisas de Preferência Declarada realizadas em 1997 e 2006 por empresas contratadas pelo Governo Federal e utilizando modelos comportamentais é possível estimar o valor do tempo dos usuários e a demanda atual e futura por transportes. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo a análise da viabilidade de implantação do metrô de Porto Alegre, através do estudo da demanda potencial, atualização dos dados de custos levantados em 1997 e estimativa dos benefícios decorrentes da mudança na demanda com base nos resultados da Pesquisa de 2006. Esses dados foram aplicados no método benefício/custo de avaliação econômica gerando resultados não tão otimistas como em estudos anteriores. Frente a esses resultados, foram feitas análises e recomendações.

Palavras-chave: demanda, função de utilidade, metrô, preferência declarada, valor do tempo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: corredores de deslocamentos em Porto Alegre	14
Figura 2: delineamento da pesquisa	18
Figura 3: probabilidade de escolha do novo modo pelo modelo estimado em 1997.....	28
Figura 4: probabilidade de escolha do novo modo pelo modelo estimado em 2006.....	30
Figura 5: síntese das probabilidades de escolha: divisão modal.....	31
Figura 6: extração linear do valor do tempo.....	43
Figura 7: evolução do IGP-M.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: parâmetros utilizados para simulação das probabilidades de escolha – base estudo de 1997.....	27
Quadro 2: parâmetros utilizados na simulação das probabilidades de escolha – base estudo de 2006.....	30
Quadro 3: valor estimado do tempo de viagem.....	33
Quadro 4: valores estimado dos tempos de viagem, caminhada e espera.....	33
Quadro 5: custos de implantação estimados em 1997.....	39
Quadro 6: valores atualizados do tempo.....	44
Quadro 7: redução dos tempos de viagem.....	45
Quadro 8: acidentes de trânsito em 2008.....	49
Quadro 9: valores presentes líquidos dos custos.....	54
Quadro 10: valores presentes líquidos dos benefícios.....	55
Quadro 11: Custos – cenário taxa de desconto igual a 8% a. a.....	56
Quadro 12: Benefícios – cenário taxa de desconto igual a 8% a. a.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: crescimento da taxa de motorização em Porto Alegre	12
Tabela 2: situação nada a fazer.....	41
Tabela 3: redistribuição do comportamento da demanda pela implantação do projeto.....	42
Tabela 4: redução diária de usuários devido à implantação do projeto.....	43
Tabela 5: benefícios de redução de custos operacionais de ônibus e automóveis.....	46
Tabela 6: número de acidentes por modal para a situação nada a fazer.....	49
Tabela 7: número de acidentes por modal para a situação implantação de projeto	49
Tabela 8: cálculo do benefício anual de redução de acidentes.....	50
Tabela 9: benefício inerente à redução de emissão de poluentes.....	50
Tabela 10: receita do sistema.....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MÉTODO DE PESQUISA	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	16
2.2.1 Objetivo Principal	16
2.2.2 Objetivos Secundários	16
2.3 HIPÓTESE DE PESQUISA.....	16
2.4 PRESSUPOSTOS DA PESQUISA	17
2.5 DELIMITAÇÃO	17
2.6 LIMITAÇÕES	17
2.7 DELINEAMENTO	17
2.7.1 Pesquisa bibliográfica	18
2.7.2 Estudo das pesquisas de Preferência Declarada de 1997 e 2006	18
2.7.3 Identificação dos benefícios	19
2.7.4 Atualização dos custos	19
2.7.5 Análise benefício/custo	19
2.7.6 Considerações finais e conclusões	20
3 MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA	21
3.1 PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA	21
3.1.1 Considerações iniciais	21
3.1.2 Método de desenvolvimento de PD	22
3.2 ESTIMATIVA DOS MODELOS	23
3.2.1 Função de Utilidade	23
3.2.2 Probabilidade de escolha	25
3.2.2.1 Modelo de 1997	25
3.2.2.2 Modelo de 2006	28
3.2.3 Valor do tempo	32
3.2.3.1 Valor do tempo estimado pelo modelo de 1997.....	33
3.2.3.2 Valor do tempo estimado pelo modelo de 2006.....	33
4 AVALIAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO	35
4.1 ESTUDO DIRECIONADO	35
4.1.1 Valor Presente Líquido (VPL)	36
4.1.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)	36

4.1.3 Relação Benefício/Custo (RBC)	37
4.1.3.1 Benefícios	37
4.1.3.2 Custos	38
4.1.3.2.1 <i>Infraestrutura</i>	38
4.1.3.2.2 <i>Sistemas</i>	38
4.1.3.2.3 <i>Material rodante</i>	38
4.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	39
5 BENEFÍCIOS	41
5.1 REDUÇÃO DOS TEMPOS DE TRANSPORTE	42
5.1.1 Quantidade de pessoas	42
5.1.2 Valor do tempo	43
5.1.3 Valoração da redução	44
5.2 REDUÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS	45
5.3 REDUÇÃO DOS ACIDENTES	46
5.3.1 Categorias e custos de acidentes	46
5.3.1.1 Custos de acidentes com vítimas fatais	47
5.3.1.2 Custos de acidentes com vítimas não fatais	48
5.3.1.3 Custos de acidentes com ônibus	48
5.3.1.4 Custos de acidentes com automóveis	48
5.3.2 Redução dos acidentes	48
5.3.3 Benefício total de redução de acidentes	50
5.4 REDUÇÃO DA EMISSÃO DE POLUENTES	50
5.5 RECEITA DO SISTEMA	51
6 QUANTIFICAÇÃO DOS CUSTOS	52
6.1 IGP-M ACUMULADO	52
6.2 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO ATUALIZADO	53
7 RELAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO	54
7.1 FLUXO DE CAIXA	54
7.2 ANÁLISE	55
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	59
ANEXO	62
APÊNDICE	64

1 INTRODUÇÃO

O crescimento dos grandes centros urbanos se dá tanto de forma horizontal, abrangendo maiores áreas, quanto de forma vertical através da construção de edifícios que comportam cada vez mais pessoas, aumentando a relação população/área. Esse aumento de extensão e densidade provoca o crescimento da demanda por viagens diárias em todos os modos de transporte. Além disso, a frota de automóveis vem crescendo. No caso da cidade de Porto Alegre, atingiu, em 2009, cerca de 673.000 veículos, e uma taxa de motorização por volta de aproximadamente 47 veículos para cada 100 habitantes, conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 1: crescimento da taxa de motorização em Porto Alegre

Ano	Frota	População	Taxa de motorização*
2003	513.931	1.360.033	37,79
2004	527.131	1.416.363	37,22
2005	546.881	1.428.696	38,28
2006	565.252	1.440.939	39,23
2007	591.598	1.420.667	41,64
2008	615.941	1.430.220	43,07
2009	672.624	1.436.123	46,84

*frota por 100 habitantes

(fonte: BRASIL, 2009; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2009)

Este crescimento da frota não pode ser absorvido em sua integralidade pelas vias existentes, pois é inviável técnica, financeira e ambientalmente a implantação de duplicações ou aumento de capacidade viária à mesma medida que cresce o fluxo de veículos. De acordo com Reisdorfer (2007, p. 13): “Para abrir a Avenida Farrapos em Porto Alegre, o então prefeito Loureiro da Silva demoliu uma porção de casas. Hoje, com a dimensão das questões

ambientais, é praticamente impossível fazer isso.”¹. Essa carência de infraestrutura, frente ao grande fluxo de veículos, gera congestionamentos, que fazem crescer os tempos de viagem e aumentam o consumo de combustível, que produz níveis altos de poluição.

Apesar de Porto Alegre² contar com amplo sistema de corredores de ônibus, é inevitável a interseção dos corredores com as vias de uso comum. Por isso as vias utilizadas por ônibus não podem ser consideradas totalmente exclusivas para estes modos, pois o tráfego de automóveis interfere no sistema de transporte público nas interseções com corredores de ônibus e em vias sem corredores, em toda a sua extensão. Isso torna o sistema público menos eficiente à medida que aumentam os congestionamentos. Apesar disso, o sistema viário de Porto Alegre, como o da maioria das cidades, segundo Ortúzar e Willumsen (1990) funciona bem com a demanda média por viagens em uma área, mas entra em colapso nos horários de pico. Por isso a cidade torna-se carente de um sistema de transporte de alta capacidade nos horários de pico. Uma proposta de solução é o metrô urbano.

A definição do traçado do metrô no meio urbano em Porto Alegre deve estar em consonância com a identificação dos principais corredores de deslocamentos do município. A figura 1 apresenta uma forma esquemática de Porto Alegre com indicação dos principais corredores de transporte e da interligação com os demais municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre.

A implantação do sistema de metrô urbano é onerosa para a sociedade, visto que as obras geram transtornos e custos altos, frente a outros sistemas. Devido a esse fator, torna-se necessário um estudo detalhado da demanda potencial por metrô, evitando que sejam feitos investimentos de grande vulto e desnecessários.

O objetivo deste trabalho é, portanto, o estudo da demanda potencial. Sabe-se que a implantação do metrô ocorrerá em Porto Alegre no momento em que houver viabilidade econômica, mas a questão é identificar esse momento. Talvez atualmente sejam suficientes apenas melhorias no sistema atual para a sua adequação, portanto busca-se determinar se é ou

¹ Declaração dada ao autor citado por Luiz Afonso dos Santos Senna, Secretário de Transportes da Prefeitura Municipal de Porto Alegre no período de 2005 - 2010.

² Na cidade de Porto Alegre, o sistema de transporte público baseia-se, predominantemente, em ônibus e lotações. Esses são sistemas de média e baixa capacidade, respectivamente, que contribuem muito para a redução dos congestionamentos, pois conseguem transportar muito mais passageiros por área ocupada na via do que os automóveis, por exemplo.

não adequada a implantação imediata do metrô em Porto Alegre através da avaliação econômica benefício/custo.

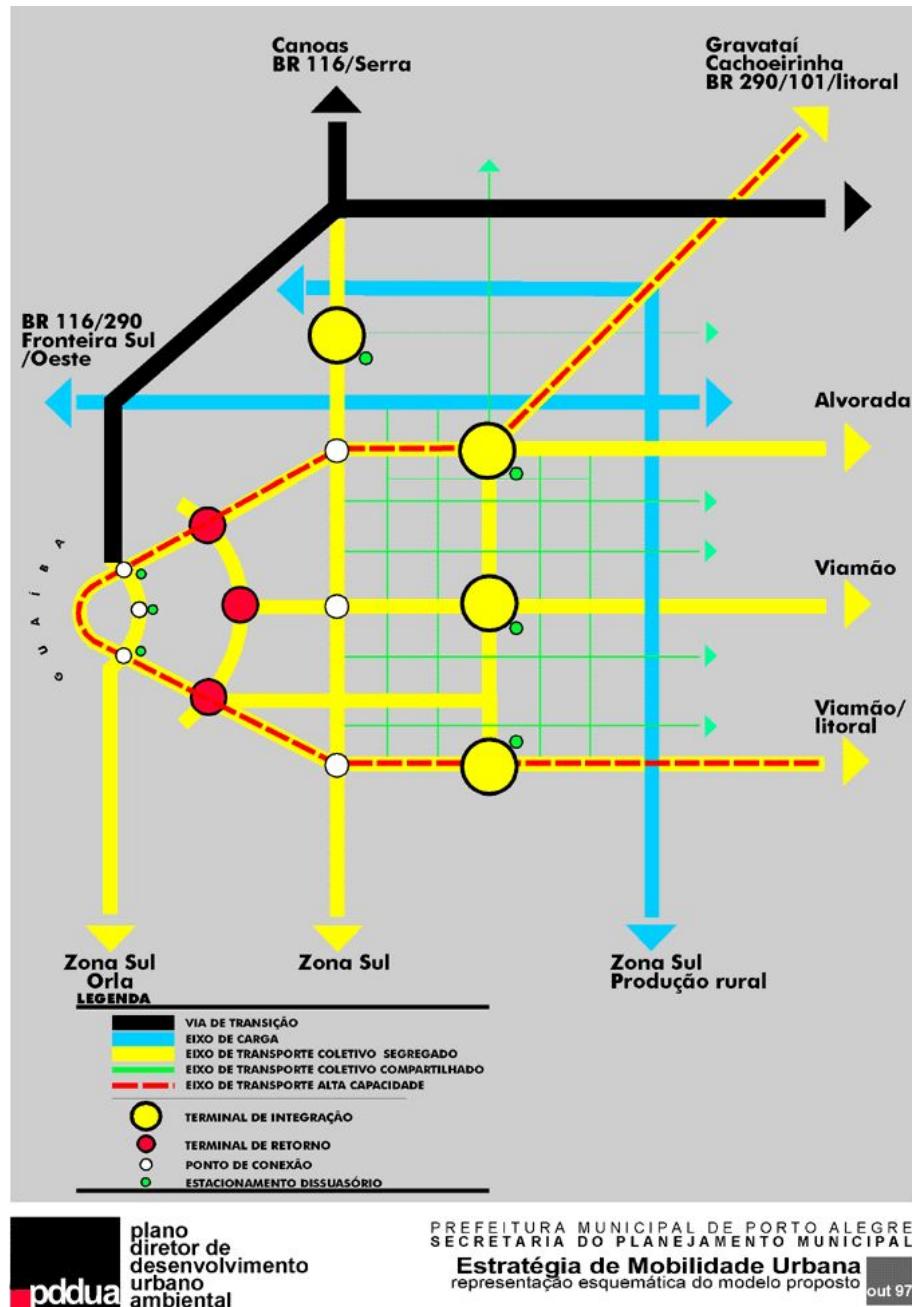


Figura 1: corredores de deslocamentos em Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2001)

Assim, no capítulo 2 são apresentadas as etapas do método de pesquisa para o desenvolvimento do trabalho. No capítulo 3, a modelagem matemática de previsão de demanda, desde pesquisa de Preferência Declarada, etapa primordial para obtenção de parâmetros, até a definição do modelo adotado para este trabalho e o cálculo do valor do

tempo produzido pelo modelo. O capítulo 4 apresenta o método de avaliação benefício/custo, bem como as figuras de mérito envolvidas, o custo de implantação do projeto em 1997 e o conceito de análise de sensibilidade. No capítulo 5 são descritos os benefícios considerados para entrada na análise benefício/custo. O capítulo 6 apresenta a atualização dos custos de implantação estimados em 1997 para os dias atuais. O capítulo 7 mostra o resultado da análise benefício/custo através do fluxo de caixa do empreendimento e recomendações a respeito. No capítulo 8 são feitas as considerações finais para fechamento do trabalho.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: a demanda potencial de usuários do metrô de Porto Alegre justifica sua implantação imediata?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

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

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a atualização do estudo de viabilidade econômica da implantação do metrô de Porto Alegre.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) determinação da influência da demanda na avaliação econômica.
- b) identificação dos parâmetros que influenciam na análise da viabilidade do projeto do metrô de Porto Alegre.

2.3 HIPÓTESE DE PESQUISA

A demanda potencial de usuários do metrô de Porto Alegre justifica sua implantação imediata pela verificação da relação benefício/custo com a consideração da análise de sensibilidade.

2.4 PRESSUPOSTOS DA PESQUISA

A pesquisa partirá de três pressupostos:

- a) a análise benefício/custo reflete adequadamente o processo decisório;
- b) tanto o Estudo de Viabilidade de Expansão do Sistema Trensurb de 1997, quanto a pesquisa de Preferência Declarada de 2006³ refletem a realidade do comportamento da demanda, e dos demais itens que compõem a avaliação econômica (BRASIL, [1997]; BRASIL et al., 2006).
- c) a atualização dos custos pelo IGP-M⁴ é adequada para o estudo em questão.

2.5 DELIMITAÇÃO

O estudo abrange a implantação de metrô na Região Metropolitana de Porto Alegre.

2.6 LIMITAÇÕES

O trabalho possui as seguintes limitações:

- a) a base de dados utilizada é a existente, não tendo sido feitas pesquisas específicas;
- b) os dados de custos tais como construção, operação e manutenção, foram atualizados a partir de indicadores econômicos e não de levantamentos atuais;
- c) somente os modelos matemáticos utilizados foram considerados para a tomada de decisão;
- d) não foram realizadas considerações sobre a influência dos usuários de motocicletas para a análise de viabilidade do projeto.

2.7 DELINEAMENTO

A seguir apresentam-se as etapas desenvolvidas no decorrer do trabalho e na figura 2 sua apresentação esquemática:

³ Foram realizadas pesquisas de Preferência Declarada em Porto Alegre nos anos de 1997 e 2006 com vistas a estimar o valor do tempo com base em modelos comportamentais que reproduzem a estrutura de decisão dos usuários de transporte público em Porto Alegre. As pesquisas existentes foram realizadas pela Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre (Trensurb) em 1997 e pelo Grupo Executivo de Integração (GEI) do Plano Integrado de Transporte e Mobilidade Urbana em 2006.

⁴ Índice Geral de Preços do Mercado divulgados pela Fundação Getúlio Vargas.

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) estudo das pesquisas de Preferência Declarada de 1997 e 2006;
- c) identificação dos benefícios;
- d) atualização dos custos;
- e) análise benefício/custo;
- f) considerações finais e conclusões.

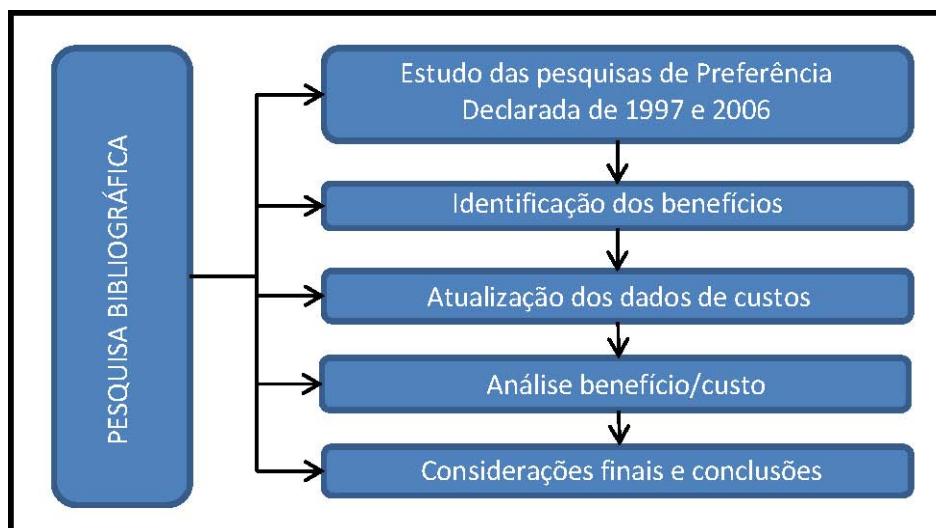


Figura 2: delineamento da pesquisa

2.7.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi direcionada com o intuito de aquisição de conhecimentos para o embasamento teórico do trabalho. Nesta fase, foi iniciado o estudo das pesquisas de Viabilidade de Expansão do Sistema Trensurb de 1997 e de Preferência Declarada com os Usuários de Transporte Coletivo e Individual da Região Metropolitana de Porto Alegre realizada em 2006 para o levantamento de informações relacionadas ao assunto abordado e definição das variáveis envolvidas. A pesquisa bibliográfica esteve presente durante todo o decorrer do trabalho, alimentando as outras etapas sempre que necessário.

2.7.2 Estudo das pesquisas de Preferência Declarada de 1997 e 2006

Esta fase foi a continuidade da pesquisa bibliográfica e caracterizou-se pelo aprofundamento no entendimento das pesquisas já citadas. A partir dos estudos realizados nestes trabalhos

(BRASIL, [1997]; BRASIL et al., 2006) foram determinados os itens que compõem a análise de viabilidade do projeto para obter a relação benefício/custo das situações de 1997 e 2006.

2.7.3 Identificação dos benefícios

A estimativa dos benefícios foi dividida em dois grupos principais:

a) socioeconômicos:

- redução dos tempos de viagem;
- redução de acidentes;
- redução de custos operacionais;
- redução da emissão de gases;

b) financeiros: receita obtida pela venda de passagens do sistema metroviário.

2.7.4 Atualização dos custos

Os custos foram atualizados através de indexadores econômicos correspondente à variação do IGP-M (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2010) aplicados aos custos calculados no estudo realizado em 1997 (BRASIL, [1997]) e se dividem em:

- a) implantação;
- b) manutenção;
- c) operação.

2.7.5 Análise benefício/custo

A partir dos benefícios e custos em valores atualizados, foi realizada a projeção desses valores para o horizonte de projeto de 35 anos, seguindo a mesma variação adotada no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) para a elaboração do fluxo de caixa. A planilha do fluxo de caixa possibilita o cálculo dos valores presentes líquidos e são esses os valores a serem comparados na análise benefício/custo.

A análise de sensibilidade não foi realizada, visto que o resultado da análise anterior levou a um projeto pouco viável, tornando desnecessária a análise de sensibilidade que busca gerar cenários economicamente piores para a comprovação da validade do estudo.

2.7.6 Considerações finais e conclusões

Com base nos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do trabalho foram realizadas as devidas considerações para fechamento do mesmo.

3 MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA

Para a estimativa dos modelos matemáticos de previsão de demanda é necessária a realização de pesquisas de campo no sentido de determinar parâmetros necessários à modelagem matemática. De posse desta, é possível prever o comportamento da demanda potencial do modal de transporte estudado frente a alterações impostas no sistema. Essa previsão é importante para a quantificação dos benefícios e avaliação do projeto tanto em termos socioeconômicos como financeiros. A seguir são apresentados a pesquisa e os modelos matemáticos.

3.1 PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA

3.1.1 Considerações iniciais

A pesquisa de Preferência Declarada (PD) busca compreender a estrutura de decisão dos usuários de um determinado sistema frente a modificações impostas ou até mesmo à introdução de um novo. Com base nos dados obtidos nesse tipo de pesquisa é possível quantificar alterações na divisão modal com a introdução e/ou alteração de uma modalidade de transporte (BRASIL et al., 2006). Segundo Senna et al. (1995, p. 592), outro produto da PD é a avaliação do valor do tempo, que indica o valor monetário que os usuários estariam dispostos a pagar para obterem uma redução unitária no tempo de viagem.

Nesse tipo de pesquisa os entrevistados são colocados frente a diferentes alternativas de transporte que são caracterizadas em função do tempo de viagem, custo, tempo de transbordo, tempo de caminhada, tempo de espera, segurança e conforto. Os dois últimos, segundo Espino e Ortúzar⁵ (2002 apud ALVES, 2005), são elementos não mensuráveis que podem ser introduzidos em uma PD de forma a tornar mais próximos da realidade os resultados obtidos. Dentre as alternativas propostas, o entrevistado deve declarar a de maior **utilidade** ou ordená-

⁵ ESPINO, R. E.; ORTÚZAR, J. D. Preferencias Declaradas en La Estimación de Variables Latentes: Análisis de Comodidad en Transporte Público. In: CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE, 12., 2002, Quito. Quito: Panam, 2002.

las em ordem de **utilidade**, dependendo do método de pesquisa escolhido. Brasil et al. (2006, p. 37) definem: “A **utilidade** é a expressão da satisfação ou do proveito que as pessoas têm ao alocar seus recursos de diferentes maneiras. Parte-se do pressuposto que as pessoas buscam maximizar sua **utilidade** frente às restrições de recursos diferentes.”. Ou seja, as pessoas darão importância maior aos atributos que forem mais relevantes para fazer a escolha ou o ordenamento das alternativas, buscando maximizar a função de **utilidade**.

3.1.2 Método de desenvolvimento de PD

O método utilizado na PD é composto por oito etapas que são apresentadas a seguir (BRASIL et al., 2006):

- a) definição do público alvo, variáveis e alternativas;
- b) desenho dos questionários;
- c) treinamento dos pesquisadores;
- d) pesquisa piloto;
- e) análise e ajuste dos questionários;
- f) pesquisa principal;
- g) tabulação dos dados;
- h) estimativa e avaliação dos modelos.

A primeira etapa consiste na identificação dos usuários de transporte para a escolha do público alvo da pesquisa, bem como as segmentações do público alvo e identificação das modalidades de transporte existentes e quais serão analisadas. Ainda nessa etapa são definidas as variáveis que serão utilizadas para descrever a escolha modal, assim como os intervalos de variação de cada uma delas. Após a definição das variáveis, é desenvolvido o questionário de pesquisa contendo a caracterização do usuário e as fichas de declaração de preferência. Completa-se a segunda etapa.

A terceira e quarta etapas ocorrem simultaneamente, pois, a pesquisa piloto, com a abrangência de uma pequena amostra de usuários, serve tanto para o treinamento dos pesquisadores, como para a identificação de possíveis falhas na pesquisa. Na quinta etapa são analisados os resultados da pesquisa piloto e propostos ajustes aos questionários, se necessário. Feitos os ajustes, retorna-se à segunda etapa e é realizada uma nova pesquisa

piloto. Quando os resultados da pesquisa piloto forem satisfatórios é realizada a pesquisa principal cobrindo todo o plano amostral. Os dados coletados são processados e testados quanto à sua consistência. Os dados formatados são transferidos para *softwares* específicos que geram os modelos de previsão de demanda e escolha modal.

3.2 ESTIMATIVA DOS MODELOS

Os modelos matemáticos de previsão de demanda foram calculados partindo-se das funções de **utilidade** obtidas do Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) e da Pesquisa de 2006 (BRASIL et al., 2006) aplicadas ao modelo probabilístico do tipo LOGIT multinomial. Os itens a seguir explicam essas variáveis.

3.2.1 Função de Utilidade

A partir dos dados de preferência dos usuários de ônibus, lotação, táxi e automóvel particular, juntamente com o perfil socioeconômico dos entrevistados (BRASIL, [1997]) é feita a estimativa dos parâmetros das funções de **utilidade** de cada modal de transporte considerando:

- a) o preço da passagem ou o custo percebido pelo usuário de veículo privado;
- b) o tempo de viagem;
- c) o tempo de espera.

A função de **utilidade** é definida genericamente pela fórmula 1:

$$U_i = \alpha_m + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_n X_n \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

U_i = Utilidade da alternativa i ;

X_1, X_2, \dots, X_n = atributos do produto ou serviço;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ = coeficientes do modelo;

α_m = constante específica do modo.

A fórmula 2 apresenta o modelo de função de **utilidade** utilizado na Pesquisa de 2006 (BRASIL et al., 2006):

$$U_i = \alpha_m + \alpha_1 C + \alpha_2 T_C + \alpha_3 T_E + \alpha_4 T_V + \alpha_5 T_T + \alpha_6 C_T \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

U_i = **utilidade** da alternativa i ;

α_m = constante específica de cada modo;

α_1 = coeficiente da variável Custo (Tarifa);

α_2 = coeficiente da variável Tempo de Caminhada;

α_3 = coeficiente da variável Tempo de Espera;

α_4 = coeficiente da variável Tempo no Veículo;

α_5 = coeficiente da variável Tempo de Transbordo;

α_6 = coeficiente da variável Transbordo (que vale 1 se a alternativa possui transbordo e 0 em caso contrário);

C = custo (tarifa);

T_C = tempo de caminhada;

T_E = tempo de espera;

T_V = variável tempo no veículo;

T_T = variável tempo de transbordo.

3.2.2 Probabilidade de escolha

A probabilidade de escolha de uma alternativa é uma função da **utilidade** da alternativa analisada em relação à soma das **utilidades** de todas as alternativas. Esse modelo é denominado LOGIT multinomial. O modelo é amplamente discutido por Ben-Akiva e Lerman (1985) e é expresso pela fórmula 3:

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_{j=1}^n e^{U_j}} \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

P_i = probabilidade da alternativa i ser escolhida;

e = base do logaritmo neperiano;

j = alternativas consideradas;

U = Utilidades das alternativas consideradas.

3.2.2.1 Modelo de 1997

Com base nas funções de **utilidade** para cada modal de transporte estimadas em 1997, faz-se o cálculo das probabilidades de escolha dos usuários pelo novo modo (no caso, o metrô) como meio de transporte. As funções de **utilidade** (BRASIL, [1997]) utilizadas são apresentadas a seguir:

$$U_N = -0,06124 \cdot T_N - 2,942 \cdot C_N \quad (\text{fórmula 4})$$

$$U_O = -0,06124 \cdot T_O - 2,942 \cdot C_O \quad (\text{fórmula 5})$$

$$U_L = -0,06124 \cdot T_L - 2,942 \cdot C_L \quad (\text{fórmula 6})$$

$$U_T = -0,06124 \cdot T_T - 2,942 \cdot C_T \quad (\text{fórmula 7})$$

$$U_C = -0,8674 - 0,06124 \cdot T_C - 2,942 \cdot C_C \quad (\text{fórmula 8})$$

Onde:

U_i = utilidade da alternativa i ;

T_i = tempo de transporte do modo i ;

C_i = custo da tarifa do modo i ;

N = novo modo (metrô);

O = ônibus;

L = lotação;

T = táxi;

C = automóvel particular.

Para a obtenção dos valores de custo e tempo a serem utilizados na simulação foi considerada a distância entre as estações Triângulo e Azenha, especificadas no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]). Esse trecho foi escolhido, pois é o que apresenta a maior concentração de carregamento do sistema segundo o mesmo estudo (BRASIL, [1997]), ou seja, a maior parte dos usuários utilizaria esse trajeto, portanto pode ser considerado como o percurso médio de viagens. Tal percurso, segundo a marcha experimental da Linha 2 do metrô (BRASIL, [1997]) apresentada no Anexo, possui o comprimento de 11,00 km e seria percorrido pelo metrô em 17,5 minutos.

Os tempos de viagens relativos aos modais ônibus e lotação foram estimados para a distância de 11,00 km a ser percorrida, adotando-se velocidades médias de 10 e 15 km/h, respectivamente. O tempo de viagem do automóvel foi estimado considerando-se a velocidade média de 21,7 km/h (ARAÚJO; CYBIS, 2002) e é o mesmo adotado para o tempo de viagem de táxi.

Os custos do ônibus e lotação foram adotados de acordo com a tarifa vigente. O custo do automóvel foi estimado por uma composição de combustível e estacionamento, que é o preço percebido pelo usuário. Para o cálculo do combustível foi adotado o consumo médio de 9 km/L e o preço do combustível igual a R\$ 2,59/L. O gasto em estacionamento considerado foi de R\$ 8,00 por viagem. O custo do táxi foi calculado com base na tarifa vigente (PORTO ALEGRE, [2009]). A tarifação dos táxis é dada em função de três valores:

- a) bandeirada: valor fixo cobrado pelo serviço igual a R\$ 3,36;
- b) quilômetro rodado: valor por quilômetro rodado igual a R\$ 1,68 (bandeira 1);
- c) tempo parado⁶: valor cobrado por tempo com deslocamento nulo igual a R\$ 12,00/h.

O quadro 1 apresenta os valores de tempo e custo utilizados para o cálculo da probabilidade de escolha modal com base nas funções de **utilidade** estimadas no Estudo de 1997.

Parâmetros utilizados para simulação das probabilidades de escolha (1997)					
MODO	ÔNIBUS	LOTAÇÃO	NOVO MODO	TAXI	AUTOMÓVEL
TEMPO (min.)	60	45	variável [15, 45]	30,4	30,41
CUSTO (R\$)	2,45	3,65	variável [0,5; 5,0]	25,7	11,17

Quadro 1: parâmetros utilizados para simulação das probabilidades de escolha – base-estudo 1997

Substituindo-se os valores do quadro 1 nas fórmulas 4 a 8 e aplicando-as à fórmula 3, obtém-se a simulação das probabilidades de escolha dos usuários pelo metrô, em função dos parâmetros T_N e C_N , dado que, o custo e tempo dos outros modais são fixos. A figura 3 ilustra essa simulação:

⁶ O tempo parado dos táxis foi calculado como sendo a diferença entre o tempo de percurso realizado na velocidade permitida (60 km/h) e na velocidade média (21,7 km/h).

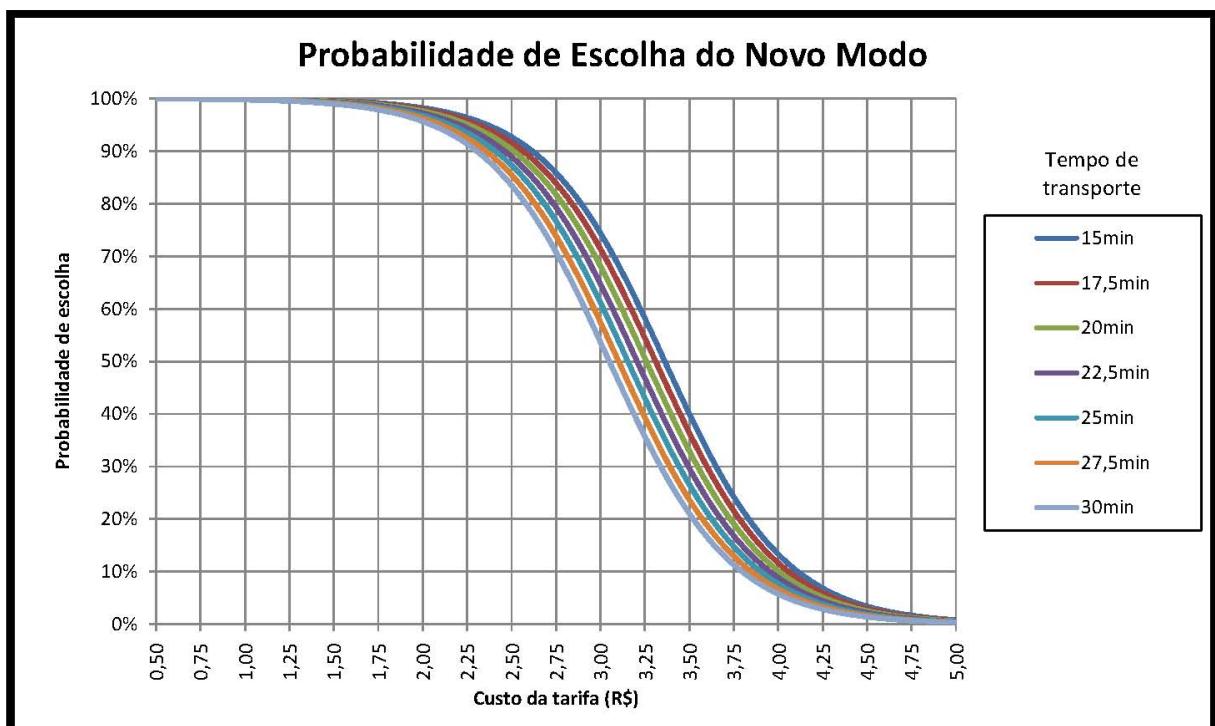


Figura 3: probabilidade de escolha do novo modo pelo modelo estimado em 1997

A partir dessa simulação é possível prever a demanda potencial do metrô uma vez fixada a tarifa do serviço prestado. Por exemplo, se a tarifa for fixada em R\$ 2,50 e o tempo de viagem for da ordem de 17,5 min, a probabilidade calculada é 0,917, ou seja, 91,7% dos usuários escolheriam essa alternativa de transporte. Isso significa que, conhecido o número total de usuários que estão sob a área de influência do traçado projetado, basta multiplicar esse número pela probabilidade obtida e define-se a demanda potencial do metrô de acordo com as funções de **utilidade** estimadas em 1997.

3.2.2.2 Modelo de 2006

A seguir apresentam-se as fórmulas das funções de utilidade obtidas na pesquisa realizada em 2006 (BRASIL et al., 2006):

$$U_N = -0,0311 \cdot T_N - 0,5368 \cdot C_N - 0,0527 \cdot TE_N - 0,0526 \cdot TC_N \quad (\text{fórmula 9})$$

$$U_O = -0,0311 \cdot T_O - 0,5368 \cdot C_O - 0,0527 \cdot TE_O - 0,0526 \cdot TC_O \quad (\text{fórmula 10})$$

$$U_L = -0,0311 \cdot T_L - 0,5368 \cdot C_L - 0,0527 \cdot TE_L - 0,0526 \cdot TC_L \quad (\text{fórmula 11})$$

$$U_C = -0,0311 \cdot T_C - 0,5368 \cdot C_C - 0,0526 \cdot TC_C \quad (\text{fórmula 12})$$

$$U_I = -0,0311 \cdot T_I - 0,5368 \cdot C_I - 0,0527 \cdot TE_I - 0,0526 \cdot TC_I - 1,6259 \quad (\text{fórmula 13})$$

Onde:

TE_i = tempo de espera associado à alternativa i ;

TC_i = tempo de caminhada associado à alternativa i ;

I= integração.

O termo independente presente na **utilidade** do modo integração (metrô associado ao ônibus) é explicado pelo incômodo sentido pelo usuário devido à troca de meio de transporte durante a viagem.

Os termos relativos ao tempo de espera e caminhada associado à **utilidade** do automóvel particular são anulados pela suposição de que o automóvel encontra-se suficientemente perto do usuário. Foram adotados valores iguais para os tempos de espera do ônibus, lotações e integração; e para o metrô (novo modo) foi adotado o tempo de 1 min de acordo com o valor médio entre duas partidas consecutivas das composições na mesma estação (ver Anexo).

O tempo de caminhada foi considerado mais baixo para o modo integração, partindo-se do princípio, que pelo fato de ser um modo composto por dois ou mais meios de transporte, consegue-se uma proximidade maior dos pontos de embarque e desembarque, para a origem e destino final dos usuários. O tempo de caminhada intermediário foi adotado para os modais ônibus e lotações; e para o metrô foi considerado um tempo de caminhada maior devido à distância entre estações ser maior do que a distância entre paradas de ônibus.

O quadro 2 apresenta os valores de tempo e custo utilizados para o cálculo da probabilidade de escolha modal com base nas funções de **utilidade** estimadas no Estudo de 2006.

Parâmetros utilizados na simulação da probabilidade de escolha (2006)						
MODO		ÔNIBUS	LOTAÇÃO	NOVO MODO	INTEGRAÇÃO	AUTOMÓVEL
TEMPO (min.)	CAMINHADA	7	7	10	5	0
	ESPERA	10	10	1	10	0
	VIAGEM	60	45	variável [15, 30]	65	30,41
CUSTO (R\$)		2,45	3,65	variável [0,5; 5,0]	4	11,17

Quadro 2: parâmetros utilizados na simulação da probabilidade de escolha – base-estudo de 2006

Substituindo os valores do quadro 2 nas fórmulas 9 a 13 e aplicando-as à fórmula 3, obtém-se a simulação das probabilidades de escolha dos usuários pelo metrô de acordo com o modelo estimado pela Pesquisa de 2006. A figura 4 ilustra essa simulação:

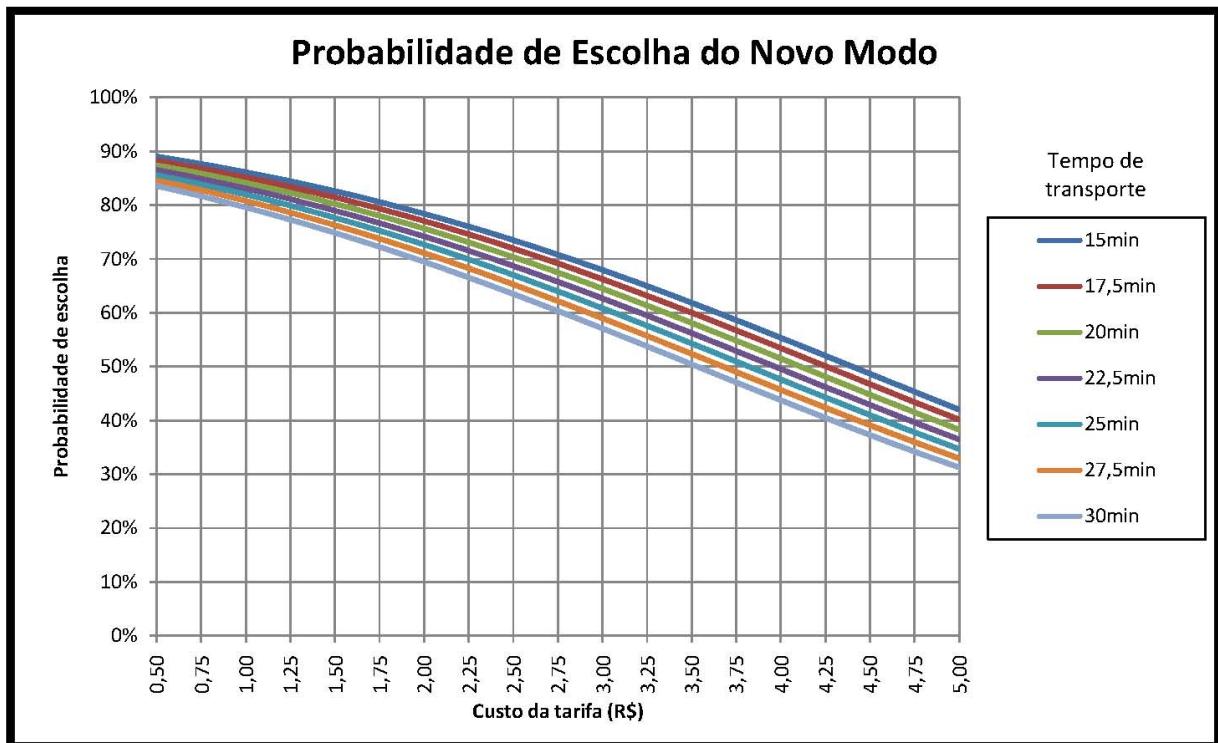


Figura 4: probabilidade de escolha do novo modo pelo modelo estimado em 2006

Utilizando-se os mesmos parâmetros do modelo de 1997 de custo da tarifa e tempo de transporte (que produziu uma probabilidade de 91,7%), para efeito de comparação, pode-se observar que a probabilidade de escolha calculada pelo modelo de 2006 é de 71,72%.

A justificativa para as diferenças observadas entre os modelos de 1997 e de 2006 pode estar relacionada ao fato que o modelo de 2006 é estimado considerando não apenas a variável tempo de viagem (como no modelo de 1997), mas também os tempos de espera e de caminhada, desta forma obtendo mais informações a partir das entrevistas realizadas. Outro possível fator que justifica tal diferença é que a partir do início dos anos 2000, observa-se um crescimento acentuado da posse de automóveis, o que pode estar associado ao aumento da preferência dos usuários por automóveis devido a fatores como aumento da facilidade de compra e a falta de segurança associada ao transporte público em determinados horários e locais. Ainda, uma terceira justificativa pode estar relacionada a uma crescente redistribuição das atividades urbanas, ou seja, novos *shoppings centers* e novos locais de concentração de atividades comerciais e de negócios, que fazem com que o número e a distância das viagens venham sofrendo alterações substanciais na cidade (MARASCHIN, 2009).

Levando em consideração as variáveis envolvidas e os resultados obtidos, conclui-se que o modelo de 2006 é mais conservador e provavelmente, mais próximo da realidade. Essa conclusão levou à escolha do mesmo como o modelo adotado, para a quantificação dos benefícios associados à implantação do projeto.

Uma vez definido o modelo, fez-se o cálculo das probabilidades de escolha dos usuários também pelos outros modais de transporte, para se ter conhecimento da divisão modal. A figura 5 apresenta a síntese de todos esses resultados.

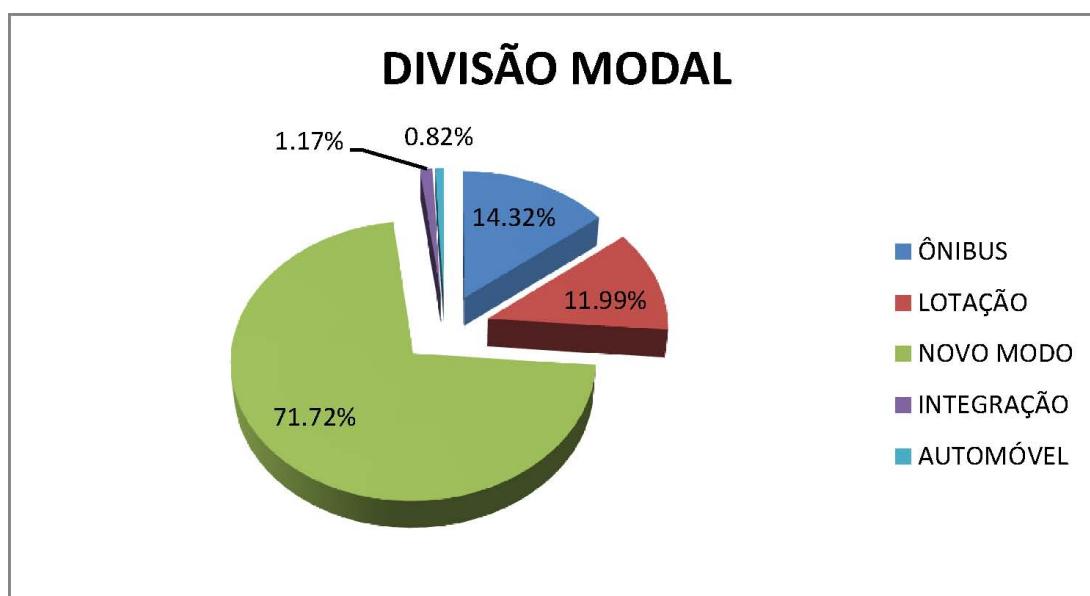


Figura 5 – síntese das probabilidades de escolha: divisão modal

3.2.3 Valor do tempo

De posse dos modelos de função de **utilidade**, calcula-se o valor do tempo de viagem e o valor do tempo de espera, definidos como o preço que os usuários estariam dispostos a pagar para a redução de um intervalo de tempo definido (no caso, um minuto) o seu tempo de viagem, espera ou caminhada. A estimativa do valor do tempo é fundamental para o processo de avaliação econômica, uma vez que as reduções dos tempos de viagem estão entre os maiores benefícios de qualquer melhoria nos sistemas de transportes. Esses valores serão posteriormente multiplicados pelo tempo economizado por cada usuário e pela quantidade de usuários beneficiados pelo projeto. Isto permite quantificar em unidades monetárias as reduções dos tempos de viagem. Tal procedimento possibilitará posteriormente a comparação com os custos do projeto.

O valor do tempo é calculado a partir do custo marginal do tempo, ou seja, divindo-se a derivada parcial da **utilidade** em relação ao tempo, pela derivada parcial da **utilidade** em relação ao custo, como mostra a expressão apresentada por Ben-Akiva e Lerman (1985) e pelo Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]):

$$VT = \frac{\frac{\partial U}{\partial t}}{\frac{\partial U}{\partial c}} \quad (\text{fórmula 14})$$

Onde:

VT = valor estimado do tempo;

$\frac{\partial U}{\partial t}$ = derivada parcial da **utilidade** em relação ao tempo;

$\frac{\partial U}{\partial c}$ = derivada parcial da **utilidade** em relação ao custo.

Com a utilização desse método de cálculo, estimaram-se os valores do tempo de viagem para os deslocamentos urbanos e intermunicipais no Estudo de 1997 e os valores do tempo de viagem, caminhada e espera pela Pesquisa de 2006.

3.2.3.1 Valor do tempo estimado pelo modelo de 1997

Os resultados dos valores do tempo calculados no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) são apresentados no quadro 3.

Usuários	Valor Estimado do Tempo de Viagem
Viagens Urbanas (Porto Alegre)	
Todos	R\$ 0,021/min
Ônibus	R\$ 0,018/min
Lotação	R\$ 0,023/min
Automóvel	R\$ 0,050/min
Viagens Intermunicipais (eixo nordeste da Região Metropolitana de Porto Alegre)	
Todos os Modos	R\$ 0,031/min

Quadro 3: valor estimado do tempo de viagem (BRASIL, [1997])

Segundo a mesma fonte, o valor estimado do tempo de espera para os usuários de ônibus nas paradas e terminais foi de R\$ 0,029/min.

3.2.3.2 Valor do tempo estimado pelo modelo de 2006

Aplicando-se a fórmula 4 às fórmulas 9 a 13 foi possível obter os valores do tempo de viagem, caminhada e espera, visto que o modelo de 2006 levou em consideração os três parâmetros, diferentemente de 1997. Os resultados obtidos são apresentados no quadro 4.

Valores estimados do tempo	
todos usuários	
Tempo	Valor
Viagem	R\$ 0,058/min
Caminhada	R\$ 0,098/min
Espera	R\$ 0,098/min

Quadro 4: valores estimados dos tempos de viagem, caminhada e espera
(BRASIL et al., 2006).

Pode-se observar que houve um acréscimo significativo no valor do tempo de viagem dos usuários, em relação ao modelo calculado em 1997 e, comparando-se os valores do tempo de viagem de 1997 e 2006, observa-se uma variação de 276%. Essa variação é compatível com a

variação do IGP-M (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2010) no mesmo período de tempo, comprovando a consistência dos modelos.

4 AVALIAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO

A avaliação de benefício/custo refere-se a métodos que visam determinar o valor de um serviço, projeto ou programa. O processo de avaliação visa orientar as decisões envolvidas, em cada situação, na direção do maior benefício social. A avaliação econômica envolve a quantificação dos benefícios e custos incrementais (ou marginais), que podem ser atribuídos a uma situação proposta. Também é importante a avaliação da destinação ou incidência desses benefícios ou custos sobre os diversos agentes e grupos sociais (BRASIL, 2005).

4.1 ESTUDO DIRECIONADO

Na avaliação econômica do metrô de Porto Alegre foram consideradas as seguintes situações: **nada a fazer e implantação do projeto**, segundo o Estudo de 1997.

A situação **nada a fazer** refere-se à manutenção da atual infraestrutura viária, que repercutirá ao longo do tempo no cotidiano da população de diferentes formas. O crescimento da demanda, sem que haja a correspondente expansão do sistema de transporte público provocará uma série de efeitos, tais como:

- a) degradação dos pavimentos e condições de circulação e tráfego;
- b) redução da velocidade comercial⁷ dos veículos e principalmente dos ônibus que utilizam as vias;
- c) aumento do consumo de combustíveis;
- d) aumento potencial de acidentes;
- e) aumento dos níveis de ruído e poluição ambiental;
- f) maior degradação da paisagem urbana;
- g) aumento do nível de *stress* da população.

A **implantação do projeto** deverá atender tanto à demanda atual, como ao crescimento futuro (BRASIL, [1997]). Portanto, uma vez implantado o projeto, os efeitos negativos apontados

⁷ A velocidade comercial é definida como a razão entre a distância percorrida no ciclo e o tempo do ciclo (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 1990).

anteriormente não ocorrerão ou terão dimensões significativamente menores, o que por si só já caracterizam benefícios associados ao projeto.

A avaliação econômica da alternativa selecionada será considerada a partir da obtenção das seguintes variáveis:

- a) Valor Presente Líquido (VPL);
- b) Taxa Interna de Retorno (TIR);
- c) Relação Benefício/Custo (RBC).

Estas variáveis são detalhadas nos itens a seguir.

4.1.1 Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo Torres et al. (2000), o VPL é obtido através da diferença obtida entre as saídas (custos) e entradas (benefícios) de caixa transportados a um ponto específico no tempo. Isto é, tendo-se o fluxo de caixa discretizado ao longo do tempo, o VPL é calculado transportando-se todos os valores para o tempo presente, ajustados pela taxa de juros definida. A fórmula 15 mostra como essas variáveis se inter-relacionam:

$$VPL = \frac{V_t}{(1 + i)^t} \quad (\text{fórmula 15})$$

Onde:

VPL = valor presente líquido no ano zero (R\$);

V_t = valor no ano t (R\$);

i = taxa de juros anual (%).

4.1.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

De acordo com Magalhães (2007, p. 78):

a Taxa Interna de Retorno é o percentual de retorno obtido sobre o saldo investido e ainda não recuperado em um projeto de investimento. Matematicamente, a Taxa Interna de Retorno é a taxa de juros que torna o valor presente das entradas de caixa igual ao valor presente das saídas de caixa do projeto de investimento.

Ou seja, equivale à mesma taxa de juros que se pode pagar por um empréstimo para o empreendimento, assegurando o seu equilíbrio financeiro durante todo o período de projeto. Matematicamente, a TIR é a taxa de juros que anula o VPL, ou seja, transportando-se os valores de custos e benefícios para o ano zero pela TIR e somando-os algebricamente (custos negativos e benefícios positivos) obtém-se zero como resultado.

4.1.3 Relação Benefício/Custo (RBC)

A RBC é definida como o quociente entre o valor atual do fluxo de benefícios econômicos a serem obtidos e o valor atual do fluxo de custos econômicos, incluindo os investimentos necessários à implantação do sistema (HOFFMANN et al., 1987).

Tais variáveis foram obtidas a partir da confrontação dos benefícios e custos, apresentados nos fluxos de caixa tendo como base os cenários, sem e com o projeto.

4.1.3.1 Benefícios

Os resultados positivos decorrentes da implantação do novo sistema, que serão agregados à sociedade como benefício social são de redução (BRASIL, [1997]):

- a) dos tempos de viagem;
- b) dos custos operacionais;
- c) dos acidentes;
- d) da emissão de poluentes.

Outro benefício considerado é o financeiro, que é mais importante para o investidor, pois quantifica a receita do sistema obtida pela venda de passagens. Esse benefício foi quantificado, mas não entra na análise de viabilidade, visto que está se fazendo uma análise socioeconômica de interesse da sociedade e não do investidor.

4.1.3.2 Custos

Os custos a serem considerados, os mesmos então se constituem basicamente nos custos de implantação, que englobam os sistemas e necessidades principais, apresentados a seguir.

4.1.3.2.1 Infraestrutura

Conjunto de obras civis necessárias para a implantação do projeto, indicadas no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]), que compreende:

- a) conjunto de vias e estações;
- b) túneis;
- c) elevados;
- d) complexo de manutenção;
- e) desapropriação de áreas;
- f) obras de interferências.

4.1.3.2.2 Sistemas

Abrangem as instalações e equipamentos necessários à operação segura dos trens e ao provimento de energia, que exigem uma tecnologia relativamente apurada. Essa tecnologia é fundamental para a operação do metrô e compreende os sistemas (BRASIL, [1997]):

- a) energia;
- b) telecomunicações;
- c) sinalização e controle;
- d) bilhetagem automática.

4.1.3.2.3 Material rodante

Abrange a aquisição de trens, em cada horizonte de projeto, incluindo-se os equipamentos de sinalização embarcados. No Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]), os valores dos custos de implantação e aquisição de equipamentos foram levantados a partir de pesquisas de custos de obras civis e de fornecimento dos sistemas dos metrôs de São Paulo, Rio de Janeiro, Recife,

Brasília e o das obras de ampliação da Linha 1 do Trengurb. No quadro 5 são apresentados os custos estimados em 1997.

Descrição		Quantidade Unitária	Unidade	Preço Unitário (R\$ mil)	Total (R\$ mil)	%
Estações					86.932,80	9,0%
		Subterrânea	40.766,40	m ²	2,00	81.532,80
		Elevadas	6.750,00	m ²	0,80	5.400,00
Via Permanente		19,90	km		419.079,17	43,5%
Linha 1 2,58	Subterrânea	1,90	km	24.253,40	46.081,46	4,8%
	Em nível	0,68	km	5.000,00	3.400,00	0,4%
	Elevada	0,00	km	12.150,00	0,00	0,0%
Linha 2 17,32	Subterrânea	13,15	km	24.253,40	318.932,21	33,1%
	Em nível	0,00	km	5.000,00	0,00	0,0%
	Elevada	4,17	km	12.150,00	50.665,50	5,3%
Sistemas Fixos					91.789,78	9,5%
		Energia	19,90	km	1.795,00	35.720,50
		Telecomunicações	19,90	km	750,00	14.925,00
		Sinalização e Controle	19,90	km	1.656,00	32.954,40
		Superestrutura via elevada	4,17	km	1.964,00	8.189,88
Material Rodante					218.000,00	22,7%
		Linha 1	9,00	veic	6.500,00	58.500,00
		Linha 2	29,00	veic	5.500,00	159.500,00
Complexo de Manutenção Sarandi		1,00	unid	25.780,00	25.780,00	2,7%
Terminais		10.000,00	m ²	0,50	5.000,00	0,5%
Interferências		19,90	km	750,00	14.925,00	1,6%
Disponibilização de Áreas					40.950,00	4,3%
		Centro	7.000,00	m ²	0,60	4.200,00
		Azenha e Colombo	24.000,00	m ²	0,50	12.000,00
		Assis Brasil	27.000,00	m ²	0,25	6.750,00
		Complexo Sarandi	90.000,00	m ²	0,20	18.000,00
						0,0%
Programa de Recuperação Operacional do Sistema - PROS		1,00	vb	60.000,00	60.000,00	6,2%
						0,0%
TOTAL					962.456,75	100,0%

Quadro 5: custos de implantação estimados em 1997 (BRASIL, [1997])

4.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade é usada para examinar se o modelo é sensível a alterações nos seus parâmetros (GOODWIN; WRIGHT, 1991⁸ apud NORONHA 1998). Esta análise permite que se saiba se uma pequena alteração de algum parâmetro, como o peso de um critério, vai causar uma grande variação na avaliação das ações potenciais. Se uma pequena variação de algum parâmetro causar grandes variações na avaliação final das ações, o modelo é sensível e requer cuidado na avaliação dos resultados, sendo necessária muitas vezes, uma reavaliação dos parâmetros utilizados (NORONHA, 1998).

⁸ GOODWIN, P.; WRIGHT, G. **Decision Analysis for Management Judgment**. Chichester: John Wiley, 1991.

A análise de sensibilidade é importante também porque o modo como são fixados os parâmetros num estudo tão abrangente, é propenso a ser feito de uma forma arbitrária. Isto pode tirar a confiança que os decisores têm nos resultados do modelo, a menos que se faça um esforço em analisar a robustez dos resultados. A análise consiste, usualmente, em mudar os valores dos parâmetros e observar as respostas do modelo. Esta é uma fase importante na aplicação de qualquer modelo, contribuindo para superar a falta de precisão na determinação dos valores dos parâmetros, para aprender sobre o contexto decisório e, finalmente, aumentar a confiança nos resultados obtidos (DIAS et al., 1997⁹ apud NORONHA, 1998). Isto pode ser uma tarefa muito demorada devido ao número de parâmetros analisados crescerem à medida que o número de critérios do modelo aumenta (NORONHA, 1998).

No caso específico deste trabalho, os parâmetros variados na análise de sensibilidade foram diretamente os de benefícios e custos, ou seja, foram alterados em percentuais predeterminados, gerando novos cenários para a avaliação.

⁹ DIAS, L. C., COSTA, J. P., CLÍMACO, J. N. Conflicting Criteria, Cooperating Processors - some experiments on implementing decision support method on a parallel computer. **Computers & Operations Research**, New York, v. 24, n. 9, p. 805-817, Sept. 1997.

5 BENEFÍCIOS

Conforme apresentado no capítulo 2, os benefícios socioeconômicos considerados na avaliação do projeto são de redução de:

- a) tempo de viagem;
- b) acidentes;
- c) custos operacionais;
- d) emissão de gases.

Os benefícios considerados para a avaliação econômica do projeto foram estimados pela comparação das divisões modais das situações **nada a fazer** e **implantação de projeto**. A situação **nada a fazer** é o cenário existente e a **implantação de projeto** foi simulada pela alteração na divisão modal proveniente da alteração das probabilidades de escolha dos usuários, conforme discutido no capítulo 3.

O número diário de usuários que se deslocam no corredor estudado, obtido da Pesquisa de 2006 (BRASIL, 2006) para a região, dividido pelas taxas de ocupação¹⁰ adotadas para cada modal, resulta na quantidade de viagens necessárias para transportar essas pessoas no período de um dia, descrevendo a situação existente. A tabela 2 exibe os números da situação **nada a fazer**.

Tabela 2: situação **nada a fazer**

MODAL	N. DE USUÁRIOS	TAXA DE OCUPAÇÃO (pass/veículo)	N. DE VIAGENS	DIVISÃO MODAL
ÔNIBUS	115.227	50	2.304,5	68,70%
LOTAÇÃO	28.807	11,2	2.572,0	17,17%
AUTOMÓVEL	23.692	1,5	15.794,4	14,13%

¹⁰ Para ônibus e automóveis foram adotados valores médios propostos no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) e para lotações foi adotado o valor correspondente a 70% da capacidade de um veículo.

Com a introdução de novos modais de transporte, sabe-se que ocorre a redistribuição da divisão modal e partindo-se do pressuposto que a mudança na demanda de cada modal gera a alteração equivalente na sua frota, foi possível calcular a redução de frota imposta pela alteração nessa divisão. A tabela 3 mostra a redistribuição dos usuários de acordo com a divisão modal imposta pela inovação no sistema de transportes apresentada anteriormente na figura 5.

Tabela 3: redistribuição do comportamento da demanda pela **implantação do projeto**

MODAL	N. DE USUÁRIOS	TAXA DE OCUPAÇÃO	N. DE VIAGENS	DIVISÃO MODAL
ÔNIBUS	24.010	50	480,2	14,32%
LOTAÇÃO	20.102	11,2	1794,8	11,99%
AUTOMÓVEL	1.371	1,5	913,8	0,82%

Nota-se que o número de usuários não é igual ao da situação **nada a fazer**. Essa diferença dá-se devido à migração dos usuários para os novos modos (metrô e integração).

5.1 REDUÇÃO DOS TEMPOS DE TRANSPORTE

Referem-se à melhoria de desempenho do sistema de transporte percebida pelo usuário na redução do seu tempo de transporte. Para sua quantificação, foi realizada a comparação das situações de **implantação do projeto** e **nada a fazer**.

5.1.1 Quantidade de pessoas

A tabela 4 mostra a redução diária da quantidade de usuários em cada modal calculada pela diferença entre as divisões modais referentes à implantação do projeto e nada a fazer. Essa divisão modal foi traduzida em número de usuários para a realização do cálculo.

Tabela 4: redução diária de usuários devido à **implantação do projeto**

MODAL	SITUAÇÃO		REDUÇÃO
	NADA A FAZER	IMPLANTAÇÃO	
ÔNIBUS	115.227	24.010	91.217
LOTAÇÃO	28.807	20.102	8.705
AUTOMÓVEL	23.692	1.371	22.321

5.1.2 Valor do tempo

A estimativa do valor do tempo dos usuários referente ao mês de abril de 2010 foi realizada com base nos valores de tempo calculados a partir das funções de **utilidade** resultantes das pesquisas de Preferência Declarada realizadas no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) e na Pesquisa de 2006 (BRASIL et al., 2006). O cálculo do valor atualizado do tempo foi realizado partindo-se dos resultados apresentados no quadro 5 que são referentes a dezembro de 2006. Esses dados foram transportados para abril de 2010 acompanhando a mesma taxa de variação do valor do tempo de viagem para todos os usuários, que são comparáveis com os resultados de 1997, durante o período de dezembro de 1997 e dezembro de 2006. A figura 6 ilustra a extrapolação linear do valor do tempo de 2006 para 2010. Os valores do tempo de caminhada e espera foram extrapolados segundo a mesma variação. Os resultados são apresentados no quadro 6.

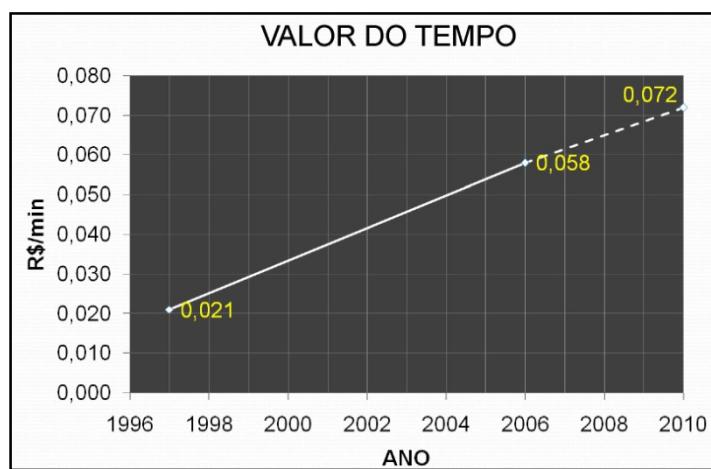


Figura 6: extrapolação linear do valor do tempo

Valores atualizados do tempo	
base: abr/2010	
Tempo	Valor
Viagem	R\$ 0,072
Caminhada	R\$ 0,122
Espera	R\$ 0,122

Quadro 6: valores atualizados do tempo

5.1.3 Valoração da redução

As reduções dos tempos de viagem, caminhada e espera são quantificadas de acordo com a mudança da divisão modal dos transportes pela implantação do novo sistema. Como se pode observar na tabela 3, há uma redistribuição das probabilidades de escolha dos usuários pela introdução de dois novos modais no sistema. Utilizando-se dessa variação e dos parâmetros de tempo utilizados para a geração do modelo matemático apresentados no quadro 2 do capítulo 3, é possível estimar o total da redução dos tempos subdivididos em viagem, espera e caminhada. Para isso, utiliza-se a fórmula 16:

$$BA_N = NP_N \cdot \sum_{j=V}^{C; E} T_j \cdot Vt_j \quad (\text{fórmula 16})$$

Onde:

BA_N = benefício associado ao modal N;

NP_N = número de pessoas que deixa de usar o modal N;

T = tempo gasto em j;

Vt = valor do tempo de j;

V = viagem;

C = caminhada;

E = espera.

O número de pessoas que deixa de usar cada modal é a redução apresentada na tabela 4. No caso dos modos de transporte não presentes na situação existente, esse valor é

matematicamente negativo, portanto ele gera um benefício negativo associado a esses modais. Esse benefício negativo não deve ser interpretado como custo, pois é consequência da queda da demanda dos outros modais pela implantação do novo sistema.

A soma algébrica de todos os benefícios associados à redução de tempo de transporte deve ser positiva, verificando que a implantação do novo sistema realmente ocasionou a redução dos tempos de transportes dos usuários. Essa soma traduz em valores monetários o benefício associado à redução do tempo de transporte e seu valor é R\$ 352.542,68/dia o que resulta em R\$ 116.339.084,99/ano. O quadro 7 apresenta, de forma sintetizada, as variáveis envolvidas e os benefícios associados a cada modal de transporte.

REDUÇÃO DOS TEMPOS DE VIAGEM						
		ÔNIBUS	LOTAÇÃO	NOVO MODO	INTEGRAÇÃO	AUTOMÓVEL
DIVISÃO MODAL	NADA A FAZER	68,70%	17,17%	-	-	14,13%
	IMPLANTAÇÃO	14,32%	11,99%	71,72%	1,17%	0,82%
	DIFERENÇA	54,38%	5,19%	-71,72%	-1,17%	13,31%
	Vt (R\$/min)					
PARÂMETROS DE TEMPO (min)	VIAGEM	0,072	60	45	17,5	65
	CAMINHADA	0,122	7	7	10	5
	ESPERA	0,122	10	10	1	10
NÚMERO DE PESSOAS		91.217	8.705	-120.288	-1.955	22.321
BENEFÍCIO ASSOCIADO (R\$)		582.703,83	46.205,95	-312.532,13	-12.714,97	48.880,00

Quadro 7: redução dos tempos de viagem (valores diários)

5.2 REDUÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS

Os custos operacionais foram estimados pela atualização dos valores por quilômetro constantes no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) através da variação do IGP-M para o ônibus. O valor atualizado do custo de operação do ônibus por quilômetro rodado calculado foi de R\$ 4,90. Já para os automóveis, a estimativa do custo operacional por quilômetro levou em consideração os custos variáveis como sendo o consumo médio de combustível, adicionado de 52,5%, percentual proposto por Barreto (1999) para contemplar custos como: pneus, óleos lubrificantes, manutenção e lavagem. Sendo assim, o custo operacional dos automóveis calculado foi de R\$ 0,44/km. A tabela 5 apresenta o benefício decorrente da redução de custos operacionais.

Tabela 5: benefícios de redução de custos operacionais de ônibus e automóveis

MODAL	VEÍCULOS EQ.		REDUÇÃO (VEÍCULOS)	km/VEÍC	km REDUZIDOS	R\$/km	BENEFÍCIO (R\$/DIA)
	N. F.*	IMP.**					
ÔNIBUS	2.305	480	1.824	11	20.068	4,90	98.331,43
AUTOMÓVEL	15.794	914	14.881	11	163.688	0,44	72.022,56

*nada a fazer; **implantação

A redução dos custos operacionais das lotações não foi considerada por tratar-se de valores ínfimos se comparados aos de ônibus e automóveis. Essa consideração conduz a um benefício ligeiramente menor em relação ao quesito operacional, contribuindo para a compensação de possíveis erros nas outras estimativas levando a um resultado mais conservador.

5.3 REDUÇÃO DOS ACIDENTES

Os benefícios provenientes da redução de acidentes foram estimados de acordo com o custo gerado pelos acidentes de trânsito. O cálculo desse benefício resume-se em qualificar os acidentes em tipo, quantidade reduzida e custo unitário, possibilitando que se conheça o valor global desse benefício.

5.3.1 Categorias e custos de acidentes

Os custos dos acidentes, de acordo com o Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) são divididos entre as seguintes categorias:

- a) vítimas fatais;
- b) vítimas não fatais;
- c) ônibus;
- d) automóveis.

Os itens a seguir descrevem o método utilizado para a estimativa de cada um desses custos.

5.3.1.1 Custos de acidentes com vítimas fatais

O Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) considera a perda econômica potencial provocada pela abrupta interrupção do ciclo de vida produtiva de uma pessoa. Para a estimativa desse valor foi utilizado o cálculo expresso pela fórmula 17:

$$V_v = (\text{Exp}_v - \text{IM}_{vf}) \cdot R_{pc} \quad (\text{fórmula 17})$$

Onde:

V_v = valor da vida (R\$);

Exp_v = expectativa média de vida (anos);

IM_{vf} = idade média das vítimas fatais em acidentes de trânsito (anos);

R_{pc} = Renda *per capita* anual (R\$/ano).

Os valores referentes ao ano de 2010 das variáveis envolvidas no cálculo do valor da vida são os seguintes:

- a) expectativa média de vida de Porto Alegre: 75 anos (PORTO ALEGRE, 2010);
- b) idade média das vítimas fatais entre 2008 e 2010: 35,93 anos (MOSCARELLI, 2010);
- c) renda *per capita* média¹¹ relativa a fev/2010: R\$ 1192,99/mês (INFORME..., 2010).

Com posse desses valores, o valor da vida calculado foi de R\$ 559.321,43. Este valor foi utilizado como base para a estimativa do custo associado aos acidentes de trânsito com vítimas fatais, ou seja, o custo social atribuído a uma morte no trânsito é igual ao valor da vida calculado.

¹¹ Foi considerada a renda média ponderada pelo número de habitantes em cada faixa salarial apresentado na Pesquisa de Emprego e Desemprego na Região Metropolitana de Porto alegre de março de 2010

5.3.1.2 Custos de acidentes com vítimas não fatais

O cálculo do custo de acidentes com vítimas não fatais levou em consideração o valor do reembolso de despesas médico-hospitalares indenizável pelo seguro Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre (DPVAT), obrigatório para proprietários de veículos que é de R\$ 2700,00 – valor consultado em maio de 2010 – (BRASIL, 2010).

5.3.1.3 Custos de acidentes com ônibus

Os custos de acidentes com ônibus foram atualizados pela variação do IGP-M a partir dos valores estimados no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]). O valor do custo médio dos danos materiais ocorridos com ônibus em 1997 era de R\$ 997,41. A atualização desse valor pelo IGP-M para 2010 levou a um custo médio de R\$ 2.867,55 para reparos de danos materiais em acidentes envolvendo ônibus. O mesmo valor foi considerado para os acidentes envolvendo lotações.

5.3.1.4 Custos de acidentes com automóveis

Da mesma forma que o custo de acidentes com ônibus, gasto médio em acidentes de automóveis foi transportado de 1997 para 2010 pela variação do IGP-M. O gasto médio com danos materiais decorrentes de acidentes de trânsito envolvendo automóveis, de acordo com o Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]), era R\$ 2.164,08. Este valor atualizado para 2010 resultou em R\$ 6.221,73.

5.3.2 Redução dos acidentes

A quantidade anual de quilômetros rodados por cada modal é o resultado da multiplicação do número de veículos equivalentes por 11 km/dia por 330 dias/ano (seis dias por semana). Obtidos esses valores, foi aplicada a nova divisão modal e calculada nova quilometragem anual por cada modo. Assumiu-se, a partir daí, que o total de acidentes de trânsito é resultado da contribuição em quilometragem de cada um desses modais e a redução de acidentes proporcional à redução do total de quilômetros rodados anualmente. O número de acidentes,

segundo dados estatísticos do ano de 2008 (PORTO ALEGRE, [2010]), é apresentado no quadro 8.

ACIDENTES DE TRÂNSITO EM 2008			
COM VÍTIMAS		S/ VÍTIMAS	TOTAL
FATAIS	NÃO FATAIS		
142	5.602	17.502	23.246
0,61%	24,10%	75,29%	100,00%

Quadro 8: acidentes de trânsito em 2008 (PORTO ALEGRE, [2010])

O cálculo do número de acidentes por cada modal é apresentado nas tabelas 6 e 7 para as situações **nada a fazer** e **implantação de projeto**, respectivamente.

Tabela 6: número de acidentes por modal para a situação **nada a fazer**

MODAL	km/ANO	% CONTRIBUIÇÃO	ACIDENTES			
			C/ V.* FATAIS	C/ V. NÃO FATAIS	S/ VÍTIMAS	TOTAL
ÔNIBUS	8.365.456	11,15%	15,8	624,5	1.951,2	2.591,6
LOTAÇÃO	9.336.446	12,44%	17,7	697,0	2.177,7	2.892,4
AUTOMÓVEL	57.333.833	76,41%	108,5	4280,4	13.373,1	17.762,0
TOTAL	75.035.736	100,00%	142	5.602,0	17.502	23.246,00

*com vítimas

Tabela 7: número de acidentes por modal para a situação **implantação de projeto**

MODAL	km/ANO	% CONTRIBUIÇÃO*	ACIDENTES/ANO			
			C/ V. FATAIS	C/ V. NÃO FATAIS	S/ VÍTIMAS	TOTAL
ÔNIBUS	1.743.135	2,32%	3,3	130,0	406,0	539,3
LOTAÇÃO	6.515.178	8,68%	12,3	486,3	1.519,2	2.017,8
AUTOMÓVEL	3.316.913	4,42%	6,3	247,6	773,6	1.027,5
TOTAL	11.575.226	15,42%	21,9	863,8	2.698,8	3.584,5

*percentual da quilometragem total apresentada na tabela 4 (situação **nada a fazer**)

5.3.3 Benefício total de redução de acidentes

O benefício estimado de redução de acidentes é obtido pela diferença entre o número de acidentes entre as situações **nada a fazer** e **implantação de projeto** multiplicada pelo custo unitário de cada categoria de acidente. A tabela 8 apresenta esse cálculo.

Tabela 8: cálculo do benefício anual de redução de acidentes

CATEGORIA	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS/ANO			CUSTO UNITÁRIO (R\$)	BENEFÍCIO (R\$/ano)
	NADA A FAZER	IMPLEMENTAÇÃO	DIFERENÇA		
V. FATAIS	142,0	21,9	120,1	559.321,43	67.174.503,74
V. NÃO FATAIS	5.602,0	863,8	4.738,2	2.700,00	12.793.140,00
AUTOMÓVEIS	13373,1	773,6	12.599,5	6.221,73	78.390.687,14
ÔNIBUS	1951,2	406,0	1.545,2	2.867,55	4.430.938,26
LOTAÇÕES	2177,7	1519,2	658,5	2.867,55	1.888.281,675
				TOTAL =	164.677.550,81

5.4 REDUÇÃO DA EMISSÃO DE POLUENTES

A redução da emissão de poluentes por veículos automotores foi calculada com base nos custos de emissão de gases, por ônibus e automóveis constantes no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]), atualizados pelo IGP-M. Esses custos foram multiplicados pela quilometragem anual reduzida previamente calculada neste capítulo. A tabela 9 apresenta esses resultados.

Tabela 9: benefício inerente à redução de emissão de poluentes

MODAL	SITUAÇÃO (N. DE USUÁRIOS/DIA)		REDUÇÕES			CUSTO/km (R\$)	BENEFÍCIO (R\$/ANO)
	NADA A FAZER	IMP.	N. DE USUÁRIOS	VEÍC/DIA	km/DIA	km/ANO	
ÔNIBUS	115.227	24.010	91.217	1.824	20.068	6.622.354	3.758 24.886.807,08
LOTAÇÃO	28.807	20.102	8.705	777	8.550	2.821.352	2.578 7.273.447,21
AUTOMÓVEL	23.692	1.371	22.321	14.880	163.687	54.016.82	0,075 4.051.261,50
							TOTAL= 36.211.515,79

5.5 RECEITA DO SISTEMA

A receita do sistema é o somatório das entradas de caixa provenientes da venda de passagens do sistema metroviário. Esse somatório foi calculado partindo-se do princípio que todo o usuário que deixou de usar os modais ônibus, lotação ou automóvel passou a utilizar o metrô como meio de transporte. Sendo assim, foi calculado o total diário da redução de usuários nos outros sistemas a partir dos dados da tabela 10. Esse valor foi transformado em valor anual para ser multiplicado pelo preço da passagem adotado para a modelagem matemática (R\$ 2,50). O número de dias por ano foi reduzido em relação ao real pela consideração de apenas 6 dias por semana supondo que aos finais de semana a demanda é reduzida pela metade. A tabela 10 apresenta esses resultados.

Tabela 10: receita do sistema

USUÁRIOS/ DIA	DIAS/ ANO	USUÁRIOS/ ANO	PREÇO DA PASSAGEM (R\$)	RECEITA ANUAL (R\$)
122.243	330	40.340.190	2,50	100.850.475,00

6 QUANTIFICAÇÃO DOS CUSTOS

Para a estimativa dos custos de implantação da Linha 2 do metrô em Porto Alegre, não foram realizados estudos específicos ou orçamentos atuais. A estratégia utilizada foi a atualização dos custos levantados no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]) através do IGP-M acumulado da Fundação Getúlio Vargas.

6.1 IGP-M ACUMULADO

O IGP-M mede a evolução dos preços de mercado com base nas variações de preços de matéria-prima, produtos intermediários, bens de consumo e serviços finais (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2010). O índice em questão é um indexador econômico que quantifica a variação dos preços ao longo do tempo. A figura 7 apresenta a evolução desse índice no período compreendido entre dezembro de 1997 e abril de 2010 com valores acumulados.

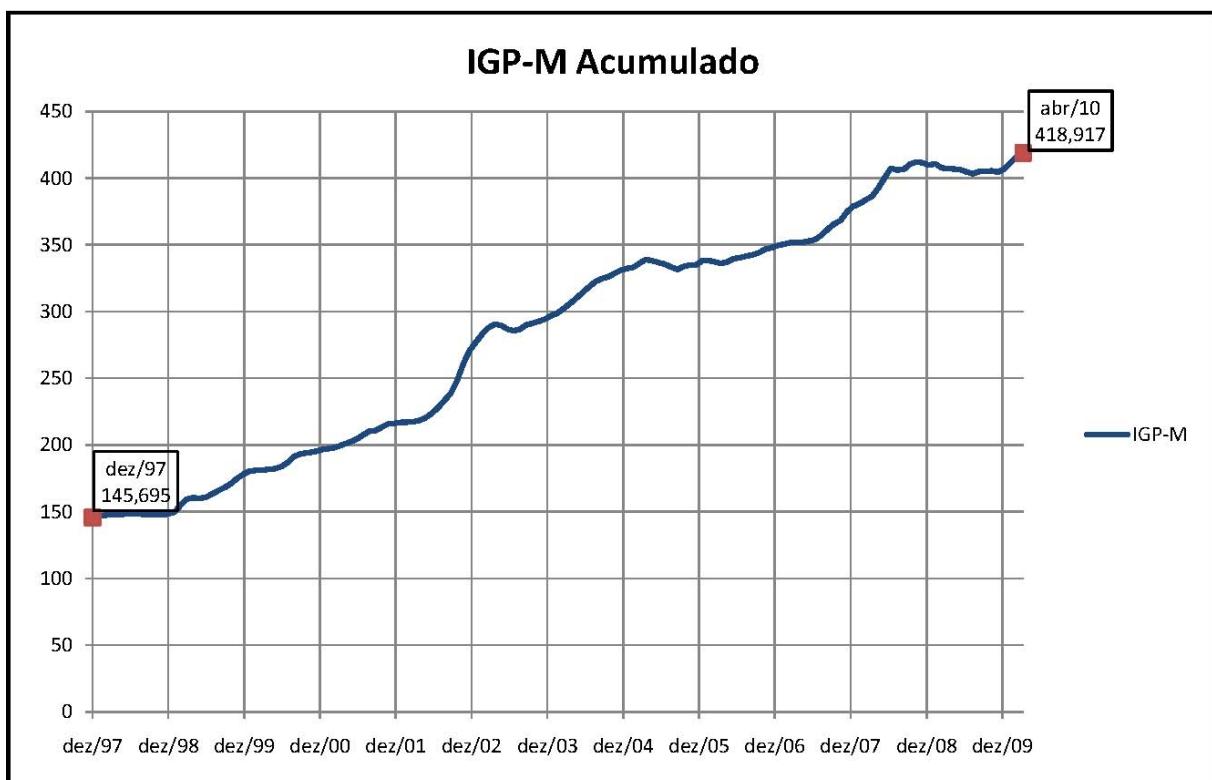


Figura 7: evolução do IGP-M (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2010)

Com base na variação do IGP-M foi calculado o indexador (I) para ser aplicado no valor do custo obtido em 1997 através da fórmula 18 apresentada a seguir:

$$I = \frac{IGPM_f}{IGPM_i} \quad (\text{fórmula 18})$$

Onde:

I = indexador para atualização do valor monetário;

$IGPM_f$ = IGP-M acumulado no mês em que se deseja obter o valor monetário;

$IGPM_i$ = IGP-M acumulado no mês em que se é conhecido o valor monetário.

Para o estudo em questão foram considerados os valores atualizado e conhecido referentes aos meses abril/2010 e dezembro/1997, respectivamente e ambos presentes na figura 5. Sendo assim, aplicando-se a fórmula 18 aos valores apresentados na figura 5, obtém-se o indexador I igual a 2,875.

6.2 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO ATUALIZADO

O investimento necessário à implantação do projeto levantado em 1997 foi atualizado através da multiplicação do indexador ($I=2,875$) pelo custo estimado no Estudo de 1997 apresentado no quadro 6 (R\$ 962.456.750,00). O resultado encontrado para o custo estimado de implantação da Linha 2 do metrô em Porto Alegre com valor referente a abril de 2010 foi de R\$ 2.767.063.156,25.

7 RELAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO

A relação benefício/custo, como citado anteriormente, foi calculada com base nos valores presentes líquidos de cada categoria de benefício e custo. Esses valores foram obtidos diretamente do fluxo de caixa gerado pela projeção dos valores anuais calculados para os próximos 35 anos.

7.1 FLUXO DE CAIXA

A elaboração do fluxo de caixa socioeconômico do projeto foi realizada partindo-se dos resultados obtidos nos capítulos 5 e 6. O custo de implantação foi dividido em 5 anos, prevendo-se esse tempo para a realização da obra de implantação. Foram calculadas parcelas anuais para o pagamento da obra com a taxa de desconto de 12% ao ano. A partir do sexto ano do fluxo de caixa, começa haver o retorno do investimento e é nesse ano que foram inseridos os benefícios apresentados no capítulo 6. A partir daí, foram projetados todos os valores para os próximos 35 anos pela mesma variação anual do fluxo de caixa apresentado no Estudo de 1997 (BRASIL, [1997]). Os custos variáveis e fixos da Linha 2 foram atualizados pelo mesmo indexador econômico (IGP-M) utilizado no custo de implantação. O fluxo de caixa completo pode ser verificado no Apêndice e os quadros 9 e 10 apresentam o resumo contendo os valores presentes líquidos:

CUSTOS	
ITEM	VPL (R\$)
Investimento	-2.767.063.156,25
Variáveis Linha 2	-341.919.857,53
Fixos Linha 2	-324.598.411,57
TOTAL CUSTOS =	-3.433.581.425,35

Quadro 9: valores presentes líquidos dos custos

BENEFÍCIOS		
Economia de Tempos de Viagem	Automóveis	280.827.462,04
	Linha 2	-972.877.927,58
	A pé	426.585,10
	Ônibus	2.269.767.173,16
Economia de custos Operacionais	Automóveis	534.217.449,20
	Ônibus	374.683.671,45
Redução da Poluição	Automóveis	37.073.989,65
	Lotações	65.826.153,78
	Ônibus	225.326.074,50
Redução de Acidentes	Ônibus	40.548.482,32
	Automóveis	716.282.069,92
	V. Fatais	613.799.499,72
	V. Não Fatais	213.945.510,20
TOTAL BENEFÍCIOS =		4.399.846.193,45

Quadro 10: valores presentes líquidos dos benefícios

7.2 ANÁLISE

Partindo-se das informações obtidas pelo fluxo de caixa, obtém-se a relação benefício/custo (RBC) e a taxa interna de retorno (TIR) do investimento. Os valores correspondentes para tais figuras de mérito são os seguintes:

- a) RBC: 1,28;
- b) TIR: 8,79%.

Nota-se que a RBC é, de fato, maior que a unidade e isso, teoricamente, indica um projeto viável. Contudo, a TIR obtida foi menor que a taxa de desconto adotada (12% a. a.), e menor do que a taxa SELIC¹², e isso indica um projeto inviável economicamente já que o mesmo capital despendido, se atualizado ao longo do período de projeto resultaria em um valor maior que os benefícios gerados pelo mesmo. Sendo assim, a análise indicaria que o projeto apresenta baixa viabilidade.

Entretanto, adotando-se uma taxa de desconto de 8% (que melhor refletisse as condições econômicas atuais do país), o fluxo de caixa indicaria os seguintes resultados, apresentados nos quadros 11 e 12:

¹² SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia (taxa básica de juros), utilizada como referência.

CUSTOS	
ITEM	VPL (R\$)
Investimento	-2.767.063,156,25
Variáveis Linha 2	-546.362.606,89
Fixos Linha 2	-491.253.530,85
TOTAL CUSTOS =	-3.804.679.293,99

Quadro 11: Custos – cenário taxa de desconto igual a 8% a. a.

BENEFÍCIOS		
Economia de Tempos de Viagem	Automóveis	466.137.538,93
	Linha 2	-1.413.387.264,85
	A pé	550.992,68
	Ônibus	3.479.597.089,61
Economia de custos Operacionais	Automóveis	883.635.869,23
	Ônibus	563.189.495,24
Redução da Poluição	Automóveis	52.183.398,38
	Lotações	94.518.956,14
	Ônibus	323.602.823,90
Redução de Acidentes	Ônibus	57.073.909,54
	Automóveis	1.011.101.959,46
	V. Fatais	866.444.695,77
	V. Não Fatais	342.484.467,26
TOTAL BENEFÍCIOS =		6.727.133.931,29

Quadro 12: Benefícios – cenário taxa de desconto igual a 8% a. a.

A simulação desse cenário levou às seguintes figuras de mérito:

- a) RBC: 1,77;
- b) TIR: 9,79%.

Esses resultados também indicam uma viabilidade facilmente questionável, principalmente sob o ponto de vista da TIR.

A partir dos resultados, outras análises de sensibilidade não seriam necessárias, visto que essa análise busca simular cenários ainda piores para comprovar a viabilidade do empreendimento e qualquer simulação desse tipo implicaria na inviabilização total do projeto.

Sendo assim, como o estudo baseia-se, basicamente na demanda e sua influência, foi realizada a simulação do aumento da demanda até o momento em que a TIR se iguala a 12% que seria o ponto em que o projeto torna-se viável. O aumento da demanda necessário para tal é de 40,5%

e esse aumento gerou uma RBC igual a 1,80, considerando-se a taxa de desconto igual a 12%
a. a. Esse aumento da demanda pode ser induzido de duas maneiras:

- a) pelo aumento da percentagem de escolha da divisão modal relativa ao Metrô que pode ser conseguido aumentando-se a atratividade do modal com programas de incentivo como redução de tarifas, aumento de eficiência e segurança;
- b) pelo aumento natural da demanda devido ao crescimento da população e urbanização.

De qualquer forma, futuramente, novas pesquisas e levantamento de custos devem ser realizados para a comprovação desse aumento da demanda e verificação da viabilidade, visto que se trata de uma obra bastante onerosa para a sociedade.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As decisões no setor de transportes são de grande importância econômica e social, pois tratam da utilização de uma grande quantidade de recursos em prol do desenvolvimento econômico e melhora na qualidade de vida da população. Portanto, apesar da não verificação da hipótese de pesquisa, vale ressaltar que os resultados encontrados no presente trabalho não são definitivos, devido às limitações do mesmo.

Sabe-se também que a operação de um metrô não é uma atividade que visa o lucro e sim um serviço à população. Muitas vezes, é subsidiado pelo governo para cobrir custos não contemplados apenas pela venda de passagens. Um exemplo é a adoção de parcerias público-privado, em que o governo se responsabiliza pela infraestrutura, e o privado assume a operação, manutenção e aquisição do material rodante.

A implantação de um projeto dessa magnitude gera, sempre desenvolvimento econômico na região, fator não contemplado nesse trabalho, pois deteve-se nos benefícios diretamente ligados ao transporte dos usuários. Esse desenvolvimento econômico pode gerar um aumento maior que o estimado na demanda, proporcionando uma maior atratividade num segundo momento de operação.

A partir da análise empreendida no presente trabalho, fica clara a necessidade de que no futuro, novas pesquisas e levantamentos de custos devem ser realizados para melhor avaliar o nível de aumento da demanda que justifique e torne viável a implantação da linha 2 do metrô.

A conclusão a partir dos resultados obtidos é que a decisão sobre a implantação da linha 2 do metrô na cidade de Porto Alegre deve ser cuidadosamente analisada. Trata-se de uma obra de grande porte e com muitos transtornos até mesmo ao próprio trânsito durante a construção, devendo ser planejada e até mesmo implantada com antecedência para que, quando for identificada a real necessidade do meio de transporte de alta capacidade, em decorrência dos níveis de demanda assim o requererem, o mesmo já estar em operação plena.

REFERÊNCIAS

ALVES, B. B. A Importância da Variabilidade do Tempo de Viagem no Acesso Terrestre a Aeroportos: estudo de caso do Aeroporto Internacional André Francisco Montoro. 2005. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ARAÚJO, D. R. C.; CYBIS, H. B. B. Aplicação do simulador de tráfego Dracula em Porto Alegre: análise comparativa com o Saturn. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 16., 2002, Natal. **Panorama Nacional de Pesquisa em Transportes 2002, 2001**. Natal: ANPET, 2002. v. 1. p. 341-352. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/art_cybis5.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2010.

BARRETO, J. R. F. **Indicadores da função transporte para empresas de utility:** um estudo de caso. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta99/barreto/index.html>>. Acesso em: 14 maio 2010.

BEN-AKIVA, M.; LERMAN, S. R. **Discrete Choice Analysis:** theory and application to travel demand. 5. ed. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology Press, 1985.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Resolução n. 1187, de 9 de novembro de 2005. Dispõe sobre os procedimentos de execução de obras e serviços pelas concessionárias nas rodovias federais reguladas pela ANTT. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/resolucoes/01000/resolucao1187_2005.htm>. Acesso em: 5 nov. 2008.

BRASIL. Federação Nacional dos Seguros Privados e de Capitalização. **Seguro DPVAT - Seguro Obrigatório de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.dpvatseguro.com.br/conheca/oquee.asp>>. Acesso em: 4 maio 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Departamento Nacional de Trânsito. **Frota de Veículos.** Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 8 abr. 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre; RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Habitação e Desenvolvimento Urbano. Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional; PORTO ALEGRE. Empresa Pública de Transporte e Circulação. **Plano Integrado de Transporte e Mobilidade Urbana (PITM Urb):** Produto P.03-03: Relatório Versão Final: Pesquisa de Preferência Declarada com os Usuários de Transporte Coletivo e Individual da Região Metropolitana de Porto Alegre. Versão 01. Porto Alegre, 2006.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre. **Estudo de Viabilidade de Expansão do Sistema Trensurb:** Região Metropolitana de Porto Alegre. Brasília, [1997].

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Instituto Brasileiro de Economia. **FGVDados**. Rio de Janeiro, 2010. (Série IGP M-FGV). Disponível em: <http://www14.fgv.br/novo_fgvdados/consulta.aspx?cntrl=1724973857&serie=700012>¹³. Acesso em: 7 maio 2010

HOFFMANN, R., SERRANO, O., NEVES, E. M., THAME, A. C. M., ENGLER, J. J. C. **Administração da Empresa Agrícola**. 3. ed. São Paulo: Pioneira, 1987.

INFORME PED – RMPA: Pesquisa de Emprego e Desemprego na Região Metropolitana de Porto Alegre. Porto Alegre: FEE; FGTAS/SINE-RS; DIEESE; SEADE-SP; FAT, v. 19, n. 3, 2010. 16 p. Disponível em: <<http://www.fee.tche.br/sitefee/download/informeped/ped1904.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2010

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas Populacionais para os Municípios Brasileiros**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2009/default.shtm>>. Acesso em: 8 abr. 2010.

MAGALHÃES, R. J. R. O. **Avaliação do Impacto Econômico do Desenvolvimento da Produção Offshore**. 2007. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2007.

MARASCHIN, C. **Localização Comercial Intra-Urbana**: análise de crescimento através do modelo logístico. 2009. 266 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Programa de Pós – Graduação em Gerenciamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOSCARELLI, F. **Média idade**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lsenna@producao.ufrgs.br> em 12 maio 2010.

NORONHA, S. M. D. **Um Modelo Multicritérios para Apoiar a Decisão da Escolha do Combustível para Alimentação de Caldeiras Usadas na Indústria Têxtil**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/disserta98/noronha>. Acesso em: 16 ago. 2008.

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. London: John Wiley, 1990.

PORTE ALEGRE. Empresa Pública de Transporte e Circulação. **Transporte em Números**, Porto Alegre, [2009]. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/transporte_em_numeros_2009.pdf>. Acesso em: 8 maio 2010.

PORTE ALEGRE. **Apresentação de Porto Alegre**. Porto Alegre: PROCERGS, 2010. Apresentação em Power Point. Disponível em: <<http://www.estado.rs.gov.br/portoalegre2014/copapoa2014-08.pdf>>. Acesso em: 4 maio 2010.

¹³ Para o acesso aos dados, o usuário deve estar cadastrado na página eletrônica da Fundação Getúlio Vargas.

PORTO ALEGRE. Observatório da Cidade de Porto Alegre. **Banco estatístico:** acidentes de trânsito. [2010]. Disponível em:
http://www2.portoalegre.rs.gov.br/observatorio/default.php?p_sistema=S&p_tpl=T.
Acesso em: 7 maio 2010.

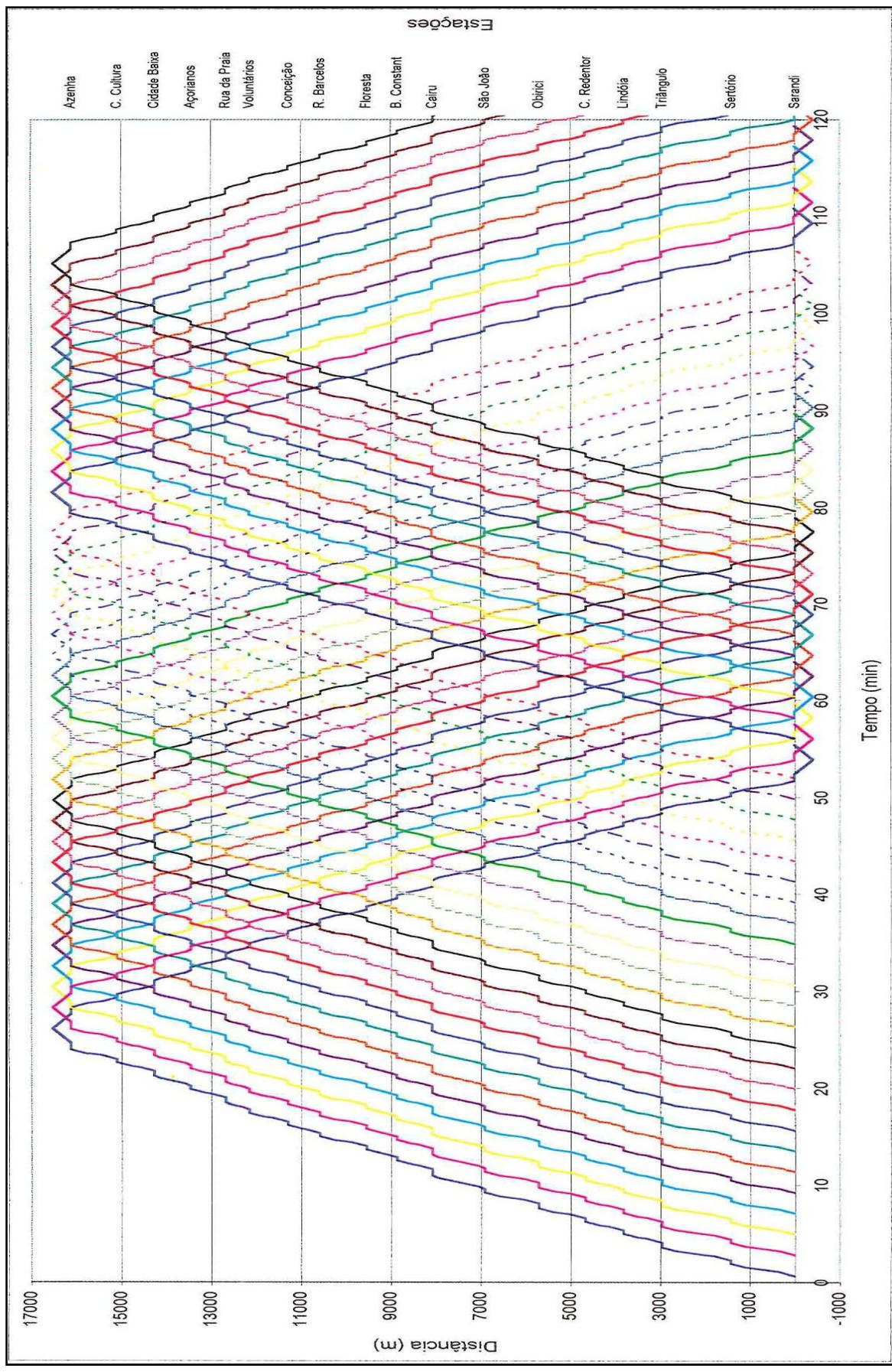
PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento Municipal. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental – PDDUA:** lei complementar nº 434. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no município de Porto Alegre, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre e dá outras providências. Porto Alegre: PMPA, 2001.

REISDORFER, A. F. Trânsito Frágil: a difícil tarefa de organizar veículos e pessoas. **Conselho em Revista**, Porto Alegre, n. 40, p. 12-14, dez. 2007.

SENNNA, L. A. S.; LINDAU, L. A.; AZAMBUJA, A. M. V. Avaliando a Demanda Potencial do Trensurb Através de Técnicas de Preferência Declarada. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 9., 1995, São Carlos. **Anais...** São Carlos, ANPET, 1995. v. 2. p. 585-594.

TORRES, L. V.; OLIVEIRA NETO, J. D.; KASSAI, J. R.; KASSAI, S. **Gestão de Custos na Cafeicultura:** uma experiência na implantação de projetos. Ribeirão Preto: Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP, 2000. Seção Textos para Discussão. (Série Contabilidade, n. 5) Disponível em:
<http://www.cpq.fearp.usp.br/pdf/cont/wpc05.pdf>. Acesso em: 13 set. 2008.

ANEXO – Gráfico de marcha experimental do metrô – Linha 2



(Fonte: BRASIL, [1997])

APÊNDICE – FLUXO DE CAIXA SOCIOECONÔMICO DO PROJETO

Ano	Custo Investimento (R\$)	Custo Variável Linha 2 (R\$)	Custo Fixo Linha 2 (R\$)	SUBTOTAL CUSTOS (R\$)	Economia de Tempos de Viagem				Economia de Custos Operacionais			Redução da Poluição			Redução de Acidentes				SUBTOTAL BENEFÍCIOS (R\$)	TOTAL (R\$)
					Automóveis (R\$)	Linha 2 (R\$)	A pé (R\$)	Ônibus (R\$)	Automóveis (R\$)	Ônibus (R\$)	Automóveis (R\$)	Lotações (R\$)	Ônibus (R\$)	Ônibus (R\$)	Automóveis (R\$)	V. Fatais (R\$)	V. Não Fatais (R\$)			
2011	767.61024844			767.61024844															-767.61024844	
2012	767.61024844			767.61024844															-767.61024844	
2013	767.61024844			767.61024844															-767.61024844	
2014	767.61024844			767.61024844															-767.61024844	
2015	767.61024844			767.61024844															-767.61024844	
2016		59275.637,79	71.016.790,34	130.292.428,14	16.130.400,00	103.135.602,90	69.149,48	192.292.263,90	23.767.444,80	32.449.371,90	4.051.261,50	7.273.447,21	24.886.807,08	44.309.826	78.390.687,14	67.174.503,74	12.793.140,00	360.573.812,11	230.281.383,97	
2017		61.368.557,52	71.016.790,34	132.385.347,87	18.297.087,45	105.505.795,82	66.887,67	203.580.417,11	29.328.596,56	34.408.760,67	4.153.217,80	7.399.004,41	25.316.527,97	45.424.465,3	80.274.952,14	68.788.672,12	14.610.424,15	385.261.198,76	252.875.850,89	
2018		63.461.477,26	71.016.790,34	134.478.267,60	20.463.616,61	107.877.330,86	64.625,86	214.868.570,31	34.889.750,87	36.368.142,39	4.255.174,11	7.524.561,60	25.746.248,86	46.639.547,9	82.159.217,15	70.403.991,84	16.427.707,59	409.948.231,11	275.469.963,51	
2019		65.554.396,99	71.016.790,34	136.571.187,33	22.630.251,29	110.247.971,15	62.366,43	226.156.723,52	40.450.905,17	38.327.524,11	4.357.117,95	7.650.118,80	26.175.636,38	47.654.63,06	84.043.482,15	72.018.160,22	18.244.990,56	434.634.768,48	298.063.581,16	
2020		67.647.316,72	71.016.790,34	138.664.107,06	24.796.859,59	112.618.835,13	60.104,62	237.444.876,72	46.012.056,93	40.286.909,35	4.459.074,25	7.775.676,00	26.605.357,27	48.769.71,32	85.927.747,16	73.632.328,60	20.062.273,64	459.321.400,33	320.657.293,27	
2021		69.740.283,36	71.016.790,34	140.757.073,70	26.963.467,90	114.989.699,11	57.843,52	248.731.811,17	51.573.211,24	42.246.293,19	4.561.030,56	7.901.233,20	27.035.078,17	49.884.795,9	87.812.012,16	75.247.648,31	21.879.557,51	484.007.967,39	343.250.893,69	
2022		71.833.208,09	71.016.790,34	142.849.993,43	29.130.076,20	117.360.563,09	55.581,00	260.019.964,37	57.134.363,85	44.205.677,02	4.662.986,86	8.026.790,39	27.464.465,68	50.999.878,85	89.692.627,16	76.862.200,47	23.696.840,00	508.694.647,78	365.844.654,34	
2023		73.926.122,82	71.016.790,34	144.942.913,16	31.296.684,50	119.731.427,07	53.319,19	271.308.117,58	62.695.516,88	46.166.065,09	4.764.930,70	8.152.347,59	27.894.186,57	52.114.961,2	91.580.542,17	78.476.944,52	255.14.123,37	533.381.847,21	388.438.934,05	
2024		76.019.042,55	71.016.790,34	147.035.832,90	33.463.292,80	122.102.291,05	51.057,38	282.596.270,78	68.256.671,62	48.124.448,92	4.866.682,85	8.277.904,79	28.323.907,47	53.323.004,38	93.464.807,17	80.091.688,57	27.331.407,26	558.069.052,94	411.033.220,05	
2025		78.111.962,28	71.016.790,34	149.128.752,63	35.629.901,11	124.474.049,78	48.795,57	293.884.423,99	73.817.823,37	50.083.828,53	4.968.843,31	8.403.461,98	28.753.294,98	54.345.12,65	95.349.072,18	81.705.473,18	29.148.688,59	582.754.069,65	433.625.317,02	
2026		80.204.882,01	71.016.790,34	151.221.672,36	37.796.509,41	126.844.242,70	46.536,14	305.172.577,19	79.378.977,12	52.043.217,30	5.070.803,76	8.529.019,18	29.183.015,88	55.460.209,1	97.233.337,18	83.320.792,89	30.965.974,60	607.442.538,86	456.220.866,51	
2027		82.297.801,74	71.016.790,34	153.314.592,09	39.963.117,71	129.215.479,49	44.274,33	316.460.730,40	84.940.130,36	54.002.599,02	5.172.743,45	8.654.576,38	29.612.736,77	56.677.529,18	99.117.602,19	84.935.057,22	32.783.256,66	632.128.874,16	478.814.282,08	
2028		84.390.768,39	71.016.790,34	155.407.558,73	42.129.726,01	131.586.020,37	42.012,52	327.747.664,84	90.501.283,61	55.961.980,74	5.274.699,76	8.780.133,58	30.042.124,29	5.769.037,44	101.001.561,20	86.550.280,99	34.600.538,49	656.815.023,09	501.407.464,36	
2029		86.483.688,12	71.016.790,34	157.500.478,46	44.296.334,32	133.957.505,70	39.750,71	339.035.818,05	96.062.436,85	57.921.369,51	5.376.656,06	8.905.690,77	30.471.845,18	5.880.545,71	102.885.826,21	88.164.865,13	364.178.227,27	681.501.455,06	524.000.976,60	
2030		88.576.607,85	71.016.790,34	159.593.398,19	46.462.942,62	136.328.394,53	37.488,90	350.323.971,25	101.623.590,10	59.880.753,58	5.478.612,36	9.031.247,97	30.901.566,07	5.992.042,56	104.770.091,21	89.778.617,75	38.235.104,67	706.187.634,51	546.594.236,31	
2031		90.669.527,58	71.016.790,34	161.686.317,92	48.629.550,92	138.699.427,52	35.227,09	361.612.124,46	107.184.743,34	61.840.132,95	5.580.556,21	9.156.805,17	31.330.953,59	61.085.500,82	106.654.356,22	91.393.937,46	40.052.386,77	730.874.897,48	569.188.579,56	
2032		92.762.447,31	71.016.790,34	163.779.237,65	50.796.159,23	141.070.460,51	32.965,28	372.900.277,66	112.745.898,43	63.799.521,72	5.682.512,51	9.282.362,36	31.760.674,48	62.150.059,09	108.538.621,22	93.008.105,85	41.869.671,05	755.561.368,37	591.782.130,72	
2033		94.855.367,04	71.016.790,34	165.872.157,38	52.962.767,53	143.441.493,50	30.703,47	384.188.430,87	118.307.050,19	65.758.904,22	5.784.468,81	9.407.919,56	32.190.395,37	63.265.67,35	110.422.886,22					