

COPPE



Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia
Universidade Federal do Rio de Janeiro

FAPERJ

CIENTISTA DO NOSSO ESTADO

PROJETO

**“ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS
LÍQUIDOS E DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA ROTAS DE
TRÁFEGO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO”**

RELATÓRIO FINAL

Coordenador: Professor Carlos David Nassi, Dr. Ing.

DADOS COMPLEMENTARES:

Instituição: COPPE/UFRJ – Programa de Engenharia de Transportes/PET

Área do Conhecimento: Planejamento em Transportes

Equipe Envolvida:

Professor Márcio Peixoto S. Santos, Ph.D.

Professor Ronaldo Balassiano, Ph.D.

Professora Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc

Pesquisador Márcio de Almeida D'Agosto, M.Sc

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS:.....	4
APRESENTAÇÃO:	5
1.PROPOSTA INICIAL	6
1.1.JUSTIFICATIVA DA PROPOSTA	7
1.2.OBJETIVOS INICIAIS	8
1.3.READEQUAÇÃO DA PROPOSTA	9
2.EXPERIÊNCIAS ANTERIORES	11
3.REVISÃO DA METODOLOGIA.....	30
4.ÁREA DE ESTUDO	32
5.PROCEDIMENTOS DE PESQUISA	33
6.DETERMINAÇÃO DOS VEÍCULOS.....	12
8.RESULTADOS OBTIDOS.....	22
9.COMENTÁRIOS FINAIS.....	8
BIBLIOGRAFIA BÁSICA.....	9

AGRADECIMENTOS:

A equipe do projeto agradece primeiramente à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – Faperj pelo apoio financeiro e institucional.

Ao Programa de Engenharia de Transporte – PET da Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia – COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ pelo apoio profissional no que se refere ao planejamento e realização dos trabalhos de campo.

À Fundação COPPETEC pelo apoio administrativo necessário à importação dos equipamentos.

À Auto Viação Saens Peña por permitir que as pesquisas fossem realizadas nos seus veículos – ônibus urbano convencional e microônibus.

À Eletra Tecnologia de Tração Ltda por proporcionar a oportunidade de que se realizasse o teste de consumo em um ônibus com tecnologia de tração híbrida.

À Metra por permitir que se realizassem testes em seu veículo e no corredor de transporte metropolitano.

Ao Laboratório de Máquinas Térmicas – LMT da Universidade federal do Rio de Janeiro, pelo apoio necessário à instalação dos equipamentos nos veículos.

APRESENTAÇÃO:

Este Relatório Final refere-se a conclusão do Projeto Cientistas do Nosso Estado, sob título “Análise da Variação de Consumo de Combustíveis Líquidos e das Emissões Atmosféricas para Rotas de Tráfego na Cidade do Rio de Janeiro”. O projeto em questão se relaciona ao Processo Faperj nº E-26/151.946/2000.

1.PROPOSTA INICIAL

O transporte tem um papel extremamente importante no desenvolvimento econômico por meio da movimentação de pessoas e cargas e da manutenção dos padrões de qualidade de vida. Entretanto, é um dos maiores consumidores de fontes de energia não renovável, sendo responsável por grande parte das emissões de poluentes para a atmosfera, prejudicando a qualidade do ar nos grandes centros urbanos.

Desde a Revolução Industrial, vem se usando cada vez mais energia no setor de transporte, e quase a totalidade desta energia depende do consumo dos combustíveis fósseis. As forças institucionais e de mercado fazem com que o transporte baseado nesta fonte se perpetue. A principal razão para o uso dos combustíveis fósseis neste setor, notadamente os derivados de petróleo, é o baixo custo, a densidade energética e a facilidade de ser estocado.

Entretanto, a queima de combustíveis fósseis nos motores é termodinamicamente ineficiente. Um exemplo é o motor de automóvel que converte apenas 20% da energia primária do combustível. A maior parte da energia é dissipada em forma de calor na água de refrigeração e na exaustão. Assim sendo, o setor de transporte se apresenta com um grande potencial de conservação e racionalização do uso de energia, seja pelo uso de tecnologia avançada na elaboração de motores, no consumo de novos combustíveis ou ainda, na criação de um sistema de tráfego mais eficiente.

Porém, todos estes fatores exigem um adequado conhecimento da situação atual da relação entre consumo energético e as condições operacionais do transporte rodoviário urbano. A identificação dos padrões de consumo de energia para o setor, em uma metrópole, é de grande interesse para os profissionais que trabalham em planejamento de transportes. Isto pode ser realizado por meio de pesquisas de levantamento de dados que possam ser utilizados na elaboração de uma função de consumo de combustível para automóveis e ônibus em tráfego urbano, nos moldes dos trabalhos de Balassiano (1980) e Santos (1980).

Adicionalmente, uma pesquisa de levantamento de dados de consumo de combustível para o transporte rodoviário urbano não pode deixar de contemplar o levantamento do nível de emissão de poluentes atmosféricos, relacionando-o com o próprio consumo de combustível. Esta preocupação com o meio ambiente urbano era menos significativa no início dos anos 80, porém,

é de grande interesse atualmente, representando uma colaboração indissociável da elaboração de uma função de consumo de combustível para automóveis e ônibus em tráfego urbano.

1.1.JUSTIFICATIVA DA PROPOSTA

As pesquisas desenvolvidas pelos Professores Ronaldo Balassiano e Márcio Santos em 1980 servirão como referência metodológica para o presente estudo e seus resultados podem ser comparados com os do trabalho proposto. Porém verifica-se que o cenário do transporte rodoviário urbano brasileiro de hoje é diferente do contemplado naquela época.

Nos últimos 20 anos houve um considerável desenvolvimento dos motores de combustão interna, com a introdução de novos sistemas e equipamentos responsáveis por aprimorar o rendimento destas máquinas e proporcionar melhores índices de consumo e menores níveis de poluição atmosférica.

Por outro lado, as condições de tráfego tornaram-se mais severas. O uso exagerado do automóvel de passeio tem acarretado engarrafamentos não observados anteriormente e possivelmente, muito do ganho de eficiência dos motores modernos pode estar sendo perdida por condições de tráfego inadequadas.

Além disso, hoje se dispõe de equipamentos capazes de apurar com maior precisão o consumo de combustível em tempo real ou seu acúmulo ao longo de um período de teste. Ferramentas como o GPS (Global Positioning System) conjugados com o processamento das rotas por meio de SIG (Sistema de Informação Geográfica) proporcionam a determinação precisa, ao longo do trajeto, da distribuição das variáveis que podem influenciar no regime de tráfego, na velocidade dos veículos e no seu consumo de combustível.

Todas estas modificações no cenário dos transportes urbanos de passageiros justificam que se realize uma avaliação da evolução da função consumo de combustíveis para os veículos rodoviários urbanos característicos. A existência de trabalhos anteriores proporciona a oportunidade de que os resultados obtidos na realidade atual sejam comparados com a situação anterior.

O trabalho desenvolvido por Santos (1980) analisa o comportamento do consumo específico (l/km) de combustível (gasolina) de um veículo típico da frota nacional naquela época, em relação aos diferentes parâmetros de tráfego (tempo parado, números de paradas, velocidade média etc.). Já Balassiano (1980) desenvolve o mesmo tipo de análise considerando o consumo

específico (l/km) de óleo diesel para um ônibus urbano típico, trafegando na cidade do Rio de Janeiro durante operação normal.

Estes trabalhos, realizados há 20 anos, representam a condição tecnológica e operacional dos transportes urbanos aquela época. A realização do trabalho aqui proposto permite uma comparação direta dos resultados obtidos no passado e no presente além de verificar os ganhos de eficiência na obtenção e no tratamento de dados em pesquisa de campo, função do uso de novas ferramentas de coleta e da integração com o processamento informatizado.

Adicionalmente, o presente trabalho incorpora o levantamento das emissões atmosféricas provenientes do consumo de combustível dentro das mesmas condições levantadas nas pesquisas de campo que determinaram as novas funções de consumo. Esta contribuição é extremamente relevante, principalmente em função da crescente preocupação com os problemas de poluição atmosférica nos grandes centros urbanos decorrentes das atividades de transporte.

1.2.OBJETIVOS INICIAIS

Como objetivo principal pretende-se elaborar a análise da variação de consumo de combustíveis líquidos para o caso de veículos representativos da frota da região em estudo, comparando os resultados com aqueles encontrados em estudos anteriores. Esta análise relaciona as curvas de consumo de combustível para automóveis de passeio (movidos a gasolina e a álcool) e ônibus (movido a óleo diesel), inicialmente com as condições de tráfego nas rotas escolhidas e posteriormente com o nível de emissões atmosféricas provenientes da queima do combustível. É possível ainda a representação destes resultados dentro de um Banco de Dados Georeferenciados para SIG.

Como objetivos complementares pretende-se:

- Desenvolver metodologia adequada ao emprego de GPS e SIG em trabalhos relacionados ao consumo de combustíveis e emissões de poluentes atmosféricos decorrentes do tráfego urbano de veículos automotores;
- Aprimorar a análise dos dados obtidos no trabalhos anteriores e entender a evolução das curvas de consumo de combustíveis ao longo do tempo;
- Desenvolver o emprego de metodologia específica para a coleta de dados de consumo de combustível em veículos automotores por meio do emprego de equipamento eletrônico específico associado ao processamento de informações com auxílio da informática.

1.3. READEQUAÇÃO DA PROPOSTA

A longo do desenvolvimento do trabalho verificou-se a necessidade de propor algumas readequações na proposta inicial, em face de dificuldades de ordem técnica e econômica. Com isso, o objetivo principal foi mantido: *elaborar a análise da variação de consumo de combustíveis líquidos para o caso de veículos representativos da frota da região em estudo, comparando os resultados com aqueles encontrados em estudos anteriores*, porém, houve necessidade de reduzir o escopo da pesquisa no que se refere à:

1. Determinação das curvas de consumo de automóvel movido a álcool – tendo em vista a dificuldade de identificar um elemento representativo da frota que utilizasse este combustível, uma vez que a importância relativa desta fonte de energia para os transportes têm diminuído bastante;
2. Determinação das emissões atmosféricas provenientes da operação dos veículos – tendo em vista a dificuldade de reproduzir as condições de teste de campo nos ensaios em dinamômetro de chassis (no caso dos automóveis) e de bancada (no caso dos ônibus).

Por outro lado, procurou-se dar maior importância à determinação das curvas de consumo para veículos de transporte coletivo, acrescentando-se ao escopo inicial do trabalho:

1. Determinação das curvas de consumo com ônibus do tipo PADRON;
2. Determinação das curvas de consumo com microônibus
3. Determinação das curvas de consumo com ônibus com propulsão híbrida.

Esta readequação se justifica em função da importância que o transporte coletivo por ônibus representa para a matriz de transporte de passageiros no Brasil, sendo o principal meio de transporte público urbano de passageiros, responsável pelo deslocamento diário de 55,14 milhões de passageiros nas cidades e o principal meio de transporte público coletivo, à exceção de 12 capitais e suas respectivas regiões metropolitanas, que dispõem de outros serviços de transporte com participação muito menos expressiva, como pode ser visto na Tabela 1 (ANTP, 2002).

Tabela 1. Divisão do transporte público urbano no Brasil.

Serviços	Municípios	Passageiros/dia	%
Ônibus	920	55.140.000	93,84%
Trem/metrô	64	3.479.000	5,92%
Barcas	12	140.000	0,24%
Total	996	58.759.000	100,00%

Fonte: ANTP, 2002.

Como forma de ratificar a importância do uso de ônibus no Brasil, nas principais capitais brasileiras este modo de transporte chegam a transportar mais de 550 milhões de passageiros/mês numa frota de cerca de 55 mil veículos, que percorre aproximadamente 250 milhões de quilômetros/mês (NTU, 2003). Para atender a este mercado, o Brasil é atualmente o segundo maior fabricante de ônibus do mundo, com uma produção 15 e 20 mil veículos ano (FABUS, 2003).

2.EXPERIÊNCIAS ANTERIORES

Com a finalidade de identificar a melhor forma de atingir os objetivos propostos, buscou-se identificar trabalhos anteriormente realizados em busca da metodologia adotada, sua abrangência e limitação. Naturalmente, considerou-se como principal referência os trabalhos de Balassiano (1980) e Santos (1980).

2.1.Santos (1980)

No trabalho de Santos (1980), seis itinerários da região metropolitana do Rio de Janeiro, sendo três em cada sentido, foram adotados para fornecerem os dados para o estudo. Esta escolha procurava refletir uma característica de tráfego da época quando foi feita a pesquisa, cerca de 22 anos atrás. No entanto, a lógica da escolha procurava evidenciar a ocorrência de percursos do tipo casa-trabalho ou trabalho-casa, que possibilitam a ligação entre zonas residenciais e comerciais e vice-versa. No que se refere à Cidade do Rio de Janeiro, itinerários com esta característica ligavam o Centro da Cidade com a Zona Sul.

Além destes, o trabalho também contemplou um itinerário de ligação entre a Zona Sul e a Cidade Universitária (Ilha do Fundão), localizada na Zona Norte da Cidade. Neste caso, procurava-se representar a viagem realizada por motivo de trabalho e estudo. Para cada um dos itinerários escolhidos verificou-se os horários de pico (maior tráfego) e fora de pico. A Tabela 2.1 a origem/destino dos itinerários e os horários escolhidos para pesquisa.

Tabela 2.1.Itinerários de pesquisa (Santos, 1980)

Origem/destino – Itinerário	Horário dos testes
Leblon – Centro	Pico da manhã e fora de pico
Gávea – Centro	Pico da manhã e fora de pico
Copacabana – Cidade Universitária	Pico da manhã e fora de pico
Centro – Leblon	Pico da tarde e fora de pico
Centro – Gávea	Pico da tarde e fora de pico
Cidade Universitária – Copacabana	Pico da tarde e fora de pico

Um maior detalhamento destes itinerários, que compõem parte dos escolhidos para o presente estudo, encontra-se na seção 5.

O principal parâmetro estudado pelo trabalho de Santos (1980) foi a velocidade média no percurso, sendo coletados dados sobre a distância percorrida e o tempo de percurso. Além disso, dois outros fatores foram considerados: número de vezes que o veículo parou completamente e tempo em que o veículo ficou parado.

A determinação do veículo-tipo baseou-se em duas características: cilindrada e relação peso/potência. Com base no cadastro do antigo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) obteve-se o veículo-tipo com base na média ponderada da cilindrada e da relação peso/potência por classe de veículo. Na época, o veículo-tipo deveria ter 1.610 cm³ e 14,32 kg/hp, sendo o veículo escolhido o Volkswagen Brasília (1.584 cm³ e 13,70 kg/hp).

O consumo de combustível foi medido com um medidor marca NAHUEL, modelo 77 H-1045 de funcionamento simples, com acionamento e leitura manuais. Trata-se de uma bureta de capacidade de ½ litro com graduação de 50 ml de precisão, sendo um equipamento extremamente dependente da habilidade do operador, porém, representada o melhor equipamento de medição disponível na época. Tanto o tempo parado quanto o número de paradas também foram obtidos manualmente, por meio de anotação em planilha de campo.

O tratamento estatístico dispensado aos resultados da pesquisa segue uma metodologia que determina o tamanho da amostra pela variância de uma amostra preliminar. Neste caso o nível de significância adotado foi de 95% para um erro máximo de $\pm 3,5 \text{ km/h}$.

Para aplicação no presente trabalho, o resultado de maior interesse é a curva de consumo de combustível e decorre do que se considerou como abordagem tradicional. A formulação final é apresentada na equação (2.1).

$$C = 1,26643 \frac{1}{V_m} - 0,00029 V_m + 0,09543 \quad (2.1)$$

Onde: C – consumo de combustível em l/km.

V_m – velocidade média em km/h, limitada à 72 km/h.

Para o ajuste em questão, os valores de σ e t (desvio padrão e teste t-student) foram 0,04986 e 25,39972 para $\frac{1}{V_m}$ e 0,0007 e 4,14286 para V_m . O R^2 foi de 0,890 e o coeficiente de Durbin-Watson (DW) foi de 1,806. Como referência o valor de t deveria ser no mínimo igual a 2,617 e de DW de 1,72, considerando-se uma amostra de 340 dados e significância de 99,5%.

2.2. Balassiano (1980)

O trabalho de Balassiano (1980) teve como objetivo estabelecer uma relação entre o consumo de combustível de um único ônibus urbano operando em linha normal de tráfego, e as características de fluxo de tráfego e de operação do veículo, equipado com motor traseiro

Mercedes-Benz, carroceria Nimbus, porta central, fabricado em 1976. Não existe no trabalho nenhuma informação sobre o modelo e as características técnicas do conjunto motor/transmissão.

O medidor de consumo de diesel utilizado foi a mesma bureta utilizada no trabalho de Santos (1980). Segundo o autor o aparelho sofreu alguma adaptação na sua instalação, pois não foi projetado para ser utilizado em ônibus. Na medição de distâncias foi utilizado um medidor *Twinmaster*, que tem precisão de 1%. Para a medição do tempo utilizou-se um cronômetro digital com precisão de décimos de segundo.

Na escolha da rede estudada, levaram-se em conta três fatores. O primeiro foi a necessidade de grande variação nas condições de tráfego. O segundo foi a existência de uma linha regular da Companhia de Transporte Coletivo do Rio de Janeiro (CTC-RJ) e por último a condição de que a rede deveria possuir, em trechos distintos, homogeneidade física e funcional. A rede foi dividida em quatro grandes partes.

- ♦ Parte 1- Apresenta na maior parte do dia um tráfego que pode ser considerado entre normal e pouco congestionado.
- ♦ Parte 2- Apresenta um tráfego de características mais lentas que aquele da parte 1, com fluxos durante a maior parte do dia entre congestionado e muito congestionado.
- ♦ Parte 3- Apresenta um tráfego de características intermediárias entre o tráfego das partes 1 e 2.
- ♦ Parte 4- Esta última parte da rede apresenta características de fluxo livre, velocidades mais elevadas que das outras partes, além da inexistência de paradas (semáforos ou pontos de ônibus). No entanto, em horários específicos, apresenta congestionamentos.

A rede escolhida é coberta por uma ligação regular de ônibus da CTC-RJ e liga o bairro do Leblon na Zona Sul da cidade com o aeroporto Santos Dumont no Centro da cidade. O percurso de ida e volta perfaz 24,44 km, sendo 12,07km no sentido Sul-Centro (S/C) e 12,37km no sentido Centro-Sul (C/S). Cada parte homogênea descrita acima tem nos dois sentidos (S/C e C/S) as seguintes distâncias conforme Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Distâncias das partes homogêneas.

	Sentido Sul-Centro	Sentido Centro-Sul
Parte 1	3,46km	3,57km
Parte 2	3,10km	1,76km
Parte 3	2,59km	4,02km
Parte 4	2,92km	3,02km

Estabeleceram-se dois horários que representavam grande movimentação (pico da manhã e pico da tarde) e um terceiro de pequena movimentação (fora de pico). Para determinar os horários de coleta de dados, escolheu-se de início um dia útil considerado representativo (quarta-feira). Nesse dia fez-se um levantamento de todas as viagens realizadas pelos ônibus na linha escolhida, e determinou-se em que horários da parte da manhã e da tarde as viagens tinham maior duração. O horário entre picos foi escolhido entre o da manhã e da tarde em que as viagens tinham menor duração. Foram então escolhidos os seguintes horários para a coleta de dados:

Sentido Sul-centro:

- ♦ Manhã: 09:00 às 10:00 horas
- ♦ Tarde: 17:30 às 18:00 horas
- ♦ Fora de Pico: 11:00 às 12:00 horas

Sentido Centro-Sul:

- ♦ Manhã: 08:30 às 09:30 horas
- ♦ Tarde : 17:30 às 18:30 horas
- ♦ Fora de Pico: 12:30 às 13:30 horas

O cálculo do tamanho da amostra, isto é, quantas vezes a rede deveria ser percorrida, baseou-se na variação da velocidade média em cada horário escolhido. Para isto, foi escolhido o horário da manhã como teste, onde foram realizadas quatro viagens, calculados os tempos médios e suas variâncias, determinou-se, pelo critério utilizado que a rede deveria ser percorrida, no mínimo, duas vezes, para ter um nível de significância de 95%. Por segurança, adotou-se cinco como número de vezes que a rede seria percorrida em cada horário predeterminado.

Foram levantadas de forma direta na pesquisa as seguintes variáveis:

- ♦ Consumo do ônibus por trecho (l/km);
- ♦ Comprimento do trecho (m);
- ♦ Carregamento do ônibus por trecho (no. Médio de passageiros por trecho);

- ♦ Número de paradas por trecho (no. De vezes que o veículo alcança velocidade igual a zero no trecho);
- ♦ Tempo gasto para percorrer o trecho (somatório do tempo em movimento e do tempo parado, em segundos).

Foram levantadas, também, de forma indireta, as seguintes variáveis:

- ♦ Velocidade média (comprimento do trecho dividido pelo tempo gasto- km/h);
- ♦ Inverso da velocidade média (h/km);
- ♦ Frequência de paradas (no. De paradas em cada trecho, dividido pelo comprimento desse trecho- no. Paradas/km);
- ♦ Percentual de tempo parado (tempo parado, dividido pelo tempo total no trecho - %).

Para coleta de dados determinaram-se primeiramente os trechos da rede onde seriam feitas as medições. Esses trechos foram delimitados por duas paradas de ônibus consecutivas, resultando 24 trechos no sentido Sul-Centro e 26 no sentido Centro-Sul. Os comprimentos de cada trecho foram medidos por aparelho instalado em um carro de passeio, sendo portanto um dado colhido antes da pesquisa.

As demais variáveis eram coletadas por três pesquisadores que viajaram nos ônibus nos horários predeterminados. O primeiro pesquisador identificava o trecho da rede e informava aos outros, que anotavam em suas planilhas. O segundo era responsável pela contagem de passageiros e pela leitura do consumo de combustível ao final de cada trecho. O terceiro e último pesquisador anotava os horários em que o ônibus entrava e saía de cada trecho, e os horários em que o ônibus parava e voltava a se movimentar, identificando as paradas de ônibus. Foram realizadas ao todo 30 viagens, sendo 15 em cada sentido (5 no pico da manhã, 5 no pico da tarde e 5 fora de pico). O mesmo motorista conduziu o ônibus durante toda a pesquisa.

Não houve no início da elaboração dos modelos um bom ajuste estatístico, pois ocorreram imprecisões na leitura dos dados sobre consumo nos trechos anteriormente determinados. Os dados foram então agregados em trechos maiores que apresentaram uma maior homogeneidade em termos de comportamento do fluxo de tráfego. Assim, os 24 trechos no sentido Sul-Centro e os 26 no sentido Centro-Sul foram agregados em 4 grandes trechos homogêneos que correspondem exatamente às 4 partes da divisão da rede (item 2.1.2).

De início, foram rodados separadamente modelos lineares, tendo como variável dependente o consumo de combustível, e como termo independente uma das seguintes variáveis:

- ♦ Frequência de paradas;
- ♦ Inverso de velocidade;
- ♦ Percentagem de tempo parado;
- ♦ Tempo parado;
- ♦ Número de paradas;
- ♦ Velocidade média;
- ♦ Carregamento.

Nestes modelos o coeficiente de determinação que mede o grau de ajustamento (R^2), variou decrescentemente de 73%, para o modelo com a variável frequência de parada, a 50% para o modelo que incluiu a variável velocidade média. O modelo com a variável carregamento apresentou um R^2 de apenas 0,012%. Para estes modelos o teste t mostrou que existe regressão ao nível de significância de 99,5% para todas as variáveis, com exceção do carregamento, que não rejeita a hipótese nula nem ao nível de significância de 90%.

A seguir, foram testados modelos com combinação de variáveis independentes, sempre utilizando a velocidade média (V_m) como variável explicativa. Isto porque esta variável funcionou como uma composição de outras variáveis (frequência, número e tempo parado; percentagem de tempo parado, entre outros) e reflete o comportamento de todas as demais variáveis em conjunto. Devido a este argumento acrescentou-se apenas mais um tipo de variável, o carregamento (CARR). Apesar desta variável apresentar quase nenhuma correlação com consumo de combustível, quando combinada com a velocidade média apresentou significância a nível de 5%, além de aumentar ligeiramente o grau de explicação da função. Dentro desta concepção, apresentou-se três modelos:

$$C = 0,29034 + \frac{2,32981}{V_m} + 0,00096.CARR, \text{ para } R^2 = 76\% \quad (2.2)$$

$$C = 0,63497 + 0,00016.V_m^2 - 0,01455.V_m + 0,00119.CARR, \text{ para } R^2 = 76\% \quad (2.3)$$

$$C = 0,44429 + 0,00008.V_m^2 - 0,00708.V_m + \frac{1,37911}{V_m} + 0,00107.CARR, \text{ para } R^2 = 78\% \quad (2.4)$$

$$0,44429 + 0,00008.V_m^2 - 0,00708.V_m + \frac{1,37911}{V_m} + 0,00107.CARR$$

Onde: C – consumo em l/km

V_M - velocidade média em km/h

$CARR$ - carregamento do ônibus em número de passageiros

Estes três modelos têm formas distintas. No primeiro, a função alcança valores altos para o consumo quando existem baixas velocidades médias, caindo o consumo com a sua elevação. No segundo modelo, a forma encontrada é de uma parábola simétrica no seu ramo descendente e ascendente. O terceiro modelo é resultado de uma combinação dos dois anteriores, passando por um mínimo e apresentando uma taxa de decréscimo, no ramo descendente, maior que a taxa de crescimento no ramo ascendente.

O trabalho faz uma análise de sensibilidade do modelo final, alterando o valor de cada uma das variáveis. No primeiro caso, para um carregamento médio de 30 passageiros chegou-se a economizar até 50% de combustível pelo aumento da velocidade média para a mais econômica (48 km/h). no caso contrário, na diminuição de altas velocidades médias para a mais econômica, as economias geradas foram bem menores, quase desprezíveis.

No segundo caso, mantendo-se constante a velocidade mais econômica (48 km/h), encontrou-se uma diferença de 13% entre o carregamento alto (50 passageiros) e o baixo (10 passageiros). Ainda para esta velocidade, obteve-se um aumento de até 21% no consumo de combustível entre o carregamento médio (30 passageiros) e o excessivo (100 passageiros).

2.3.FINEP/ENGEVIX (1982)

Toda metodologia de pesquisa teve por meta fundamental a realização dos testes em condições que reproduzissem, da melhor maneira possível, as viagens urbanas. As viagens foram feitas segundo critérios preestabelecidos, diferentes para automóveis, caminhões e ônibus. Estes roteiros procuraram enquadrar vias de diversas categorias em várias zonas da área urbana de São Paulo.

Como se verificou que as rampas exerciam grande influência sobre o consumo de combustível de ônibus e caminhões, escolheram-se, para teste, rotas que apresentavam variações significativas deste parâmetro.

Os motoristas selecionados para os testes com automóveis eram de nível universitário, com experiência prévia de direção em São Paulo, possuidores de carros próprios. Escolheram-se universitários pela facilidade de compreensão e cumprimento das indicações relativas ao modo

de dirigir. As instruções se resumiam em dirigir acompanhando o tráfego, sem adiantar-se nem tomar medidas tendentes a economizar ou seja, caracterizando-se como um motorista “normal” ou “médio”.

Os motoristas selecionados para os ônibus e caminhões já realizavam a rota do teste como sua rota normal, estando assim familiarizados tanto com os veículos como com as rotas, e dirigiam segundo seu padrão normal.

A seleção de automóveis levou em conta a sua participação na frota nacional, e simultaneamente procurou-se fazer com que os veículos escolhidos representassem as diferentes concepções mecânicas, categorias e outras características usuais entre fabricantes nacionais. Foram os seguintes os veículos de passeio selecionados:

- ♦ Fiat 147 (1.050 cm³)
- ♦ VW Fusca (1.300 cm³)
- ♦ Ford Corcel (1.600 cm³)
- ♦ Chevrolet Opala (2.500 cm³)

Todos os veículos eram movidos a gasolina pois na época da realização da pesquisa ainda era pequena a participação de veículos movidos a álcool.

Na seleção de ônibus e caminhão, a sua participação na frota nacional foi o fator predominante, tendo-se acrescentado a isto a ocorrência destes veículos em serviços urbanos. Escolheu-se então um ônibus Mercedes Benz monobloco O 362 equipado com motor Mercedes Benz OM 352, e um caminhão Mercedes-Benz 1113 com carroceria de baú isotérmico, com apenas um eixo traseiro e com o mesmo motor do ônibus.

Os automóveis, ônibus e caminhões foram equipados com odômetro parcial aferido em pista de extensão conhecida, com indicação de 10 em 10m e possibilidade de interpolação (5m).

Os automóveis contaram também com uma bureta de 500ml de capacidade e graduação de 5 em 5 ml, intercalada na linha de combustível. O ônibus contou com uma bureta de 2.000 ml de capacidade e graduação de 20 em 20 ml. Para ônibus e o caminhão foi instalado um fluxômetro aferido para diesel, com indicação digital intercalado na linha de combustível

O cronômetro digital com indicação de décimos de segundo foi outro tipo de instrumento utilizado.

Nos automóveis, ônibus e caminhões a equipe era constituída de dois elementos, além do motorista, que só se ocupava em dirigir, sem outras atribuições que pudessem perturbar sua atenção. Um dos pesquisadores se encarregava das leituras do odômetro e da bureta, em sincronia com o outro pesquisador, que anotava os tempos e as paradas ocorridas, além de prevenir sobre a aproximação dos nós predeterminados de leitura dos instrumentos, que no caso do ônibus e do caminhão eram definidos por alteração de greide, pontos, semáforos etc.

No caso particular de ônibus, existia ainda uma equipe auxiliar, com duas pessoas, uma na parte traseira do veículo e outra na parte dianteira, efetuando as contagens de passageiros embarcados e desembarcados por ponto, para determinar o carregamento do veículo.

A variação da carga do caminhão foi facilmente verificada pelas notas fiscais de venda, obtendo-se os pesos das cargas desembarcadas em cada ponto.

Todos os testes foram realizados com o motor dos veículos previamente aquecido, com pneus calibrados diariamente, e tanques de combustível mantidos sempre entre $\frac{3}{4}$ e cheio.

As rotas foram percorridas durante todo o dia (de 05:30 às 19:00 h), período em que havia iluminação suficiente para fazer as leituras de bureta com segurança. Nestes períodos foram abrangidos os picos da manhã e da tarde.

Durante a realização dos testes foram observadas várias instruções destinadas a reduzir as variabilidades e erros e permitir a posterior análise dos dados e repetibilidade dos testes:

- ♦ As distâncias mínimas aceitáveis foram da ordem de 100m, o que reduz o erro relativo de leituras a 5% no pior caso;
- ♦ Os consumos mínimos foram da ordem de 50 ml;
- ♦ Os nós selecionados para a obtenção de medidas eram de fácil reconhecimento e dividiam os trechos em seções homogêneas.

Primeiramente foram estimados modelos para automóveis, tendo como variável dependente o consumo específico de combustível (C em l/km) e como variável explicativa ou independente, o inverso da velocidade média (V_m em h/km) – $C = f(1/V_m)$. Os coeficientes de determinação, que fornecem o grau do ajustamento das funções, variaram de 77% para os dados com o VW Fusca a 83% para o Chevrolet Opala. O número de dados variou de 340 informações para o Fiat 147 até 494 para o Chevrolet Opala. Para todos os veículos, a hipótese de não haver regressão foi rejeitada para mais de 99,5%.

No caso do ônibus separaram-se os dados onde as rampas ascendentes e descendentes fossem inferiores a 1,5%. Apesar disto, o coeficiente de determinação foi apenas 48%. O mesmo aconteceu no caso do caminhão, em que, para rampa média ascendente ou descendente próxima de 1%, obteve-se também um coeficiente de determinação de 48%.

Tendo em vista que no caso do ônibus e do caminhão, a variável inverso da velocidade foi insuficiente para uma adequada explicação do consumo, foram feitos testes incluindo outras variáveis identificadas mediante o tratamento teórico dado aos fatores que supostamente influenciam o consumo. Foram quatro as variáveis identificadas, segundo várias características.

Características do tráfego urbano:

- ♦ frequência de paradas (multiplicada pela massa do veículo e por distância);
- ♦ tempo parado por distância.

Características da via:

- ♦ seno do ângulo da rampa ascendente (multiplicado pela massa do veículo);
- ♦ seno do ângulo da rampa descendente (multiplicado pela massa do veículo).

Características do veículo:

- ♦ massa total do veículo.

Características do Tráfego Rodoviário:

- ♦ componente devido à resistência aerodinâmica;
- ♦ componente devido às resistências de atrito e perdas nos pneus.

A seleção de variáveis foi estabelecida pelo método “STEPWISE” e além do inverso da velocidade média foram incluídas também, para o ônibus e caminhão, as variáveis seno do ângulo da rampa ascendente e descendente e a frequência de paradas. As demais variáveis não apresentaram aumento significativo na explicação.

Os modelos apresentados no entanto, além de não melhorarem muito o grau de explicação tiveram, para o ônibus, rejeitada a hipótese de regressão ao nível de 90% para a variável frequência de paradas.

No caso do caminhão, além da frequência de paradas, foi também rejeitada a hipótese de regressão para a variável seno do ângulo da rampa descendente, também a nível de 90%.

Tentou-se melhorar ainda mais a função dos automóveis, incluindo a variável frequência de paradas que era a segunda em grau de explicação. O automóvel escolhido foi o Opala, por ter a maior massa e a inclusão desta variável aumentou o grau de explicação em apenas 1%.

Nas rotas selecionadas para os automóveis, evitou-se a incidência de rampas médias elevadas (acima de 3%), além de serem eliminados os trechos mais curtos entre paradas, em que ocorriam rampas que afetavam o consumo.

Para se ter uma idéia de como a rampa influencia o consumo, foi criada uma rota específica, em que havia significativa variação das rampas, que atingiam até 22,5% de declividade. Os testes foram feitos com o Corcel e conduzidos por três motoristas diferentes. Nos modelos, foram incluídas as variáveis seno do ângulo da rampa ascendente e descendente, e a equação obtida apresentou um grau de explicação (R^2) ligeiramente superior ao caso das rotas “sem rampa”. Todos os parâmetros rejeitaram a hipótese de não haver regressão, ao nível de significância de 99,5%.

2.4.GEIPOT (1986)

O trabalho realizado pelo GEIPOT se propunha a determinar o consumo de combustível em relação às características de um corredor de tráfego. Neste caso, o corredor escolhido foi a via W3 Sul. Esta via é composta por duas pistas; uma no sentido norte-sul e outra no sentido sul-norte. As duas pistas têm três faixas de rolamento cada uma, e o trecho do teste tem 5.708 metros no sentido norte-sul e 5.717 metros no sentido sul-norte, perfazendo um total de 11.425 metros. A medição dos trechos foi efetuada com um DMI¹ devidamente calibrado em um trecho previamente conhecido, utilizada a média de três passagens.

De todos os corredores existentes na cidade, a via W3, em seu ramo sul, é a que apresenta maior número de cruzamento com semáforos, além de ser um corredor de passagem para as cidades satélites de Ceilândia, Taguatinga e Guará, e servir também às pessoas que se dirigem ao Cruzeiro e ao Setor de Indústria. A via W3 Sul possui ainda grande concentração de residências, comércio, bancos e escolas em suas proximidades, e apresenta em seu ponto de início, nos horários de pico uma retenção de tráfego de aproximadamente 1.000 metros, em cada sentido.

¹ *Distance Measuring Instrument*. O DMI é um odômetro eletrônico que fornece através de pulsos gerados por ímãs colocados em uma das rodas do veículo a medida indireta da distância percorrida pelo veículo.

Outro fator, na escolha da via W3 Sul, foi a existência de uma linha de ônibus que a cobre integralmente. Existem linhas de ônibus que atravessam a via tanto no seu ramo sul quanto no ramo norte, mas apenas em um sentido, voltando por uma outra via. Apesar destas linhas apresentarem maior carregamento de passageiros, elas apresentam o inconveniente da viagem durar muito tempo, prejudicando a operacionalidade do teste. Optou-se então por uma linha que pudesse ser quase totalmente utilizada no teste. Esta linha foi a 137, Via W3 Sul ida e volta, que cobre toda a W3 Sul nos seus dois sentidos. Esta linha, no entanto, apresentava problemas de baixo carregamento, pois as outras linhas que passam na via são suas concorrentes.

A escolha de Brasília para a pesquisa-piloto de consumo de combustível trouxe alguns problemas. O mais notório deles foi a dificuldade de encontrar na cidade níveis de congestionamento em que a velocidade média apresentasse valores muito baixos, e consequentemente altos valores de consumo de combustível. O transporte coletivo da cidade é caracterizado por cobrir grandes distâncias com baixa rotatividade de passageiros, alcançando grandes velocidades médias.

Além do comprimento da via, foram levantadas as paradas de ônibus, semáforos e greides. As paradas de ônibus e os semáforos foram localizados nos trechos de teste através do equipamento Caixa Gravadora²; o operador dava um comando sempre que cruzava com um evento. Também para diminuir a margem de erro, foram consideradas as médias de três passagens.

O terceiro e último dado de cadastro levantado foi a geometria vertical da Via W3 Sul. Não foi levantada a geometria horizontal porque sua variação é muito pequena. Neste levantamento, a Via W3 Sul foi estaqueada a cada 20 metros por equipe de topografia, e posteriormente desenhado o seu perfil vertical em folha milimetrada. Para cada sentido da via, encontraram-se quatro situações de rampas homogêneas, que foram denominadas trechos A e D no sentido norte-sul, e trechos E e H no sentido sul-norte. Além dos trechos e suas rampas, a localização das trinta paradas de ônibus e dos trinta e sete semáforos da Via W3 Sul.

A via W3 Sul é a única em Brasília que possui um sistema de onda verde, onde os semáforos e cruzamentos são controlados por computador. O programa deste computador estabelece mudanças nos tempos dos sinais, conforme o nível de tráfego nos diversos horários. Como o tráfego muda ao longo dos anos, é necessário reprogramar o sistema periodicamente, através de

² Dispositivo automático desenvolvido especialmente para estes testes.

pesquisa de contagem de tráfego ao longo da via e de seus cruzamentos. A última pesquisa disponível foi feita em junho de 1983, com contagem em intervalos de 15 em 15 minutos, das 06:00 horas às 24 horas.

A determinação dos três horários previstos nos testes (pico, entre-picos e horário livre) foi baseada nesta pesquisa de 1983, sendo escolhido para isto o trecho da W3 Sul que apresenta maior volume de tráfego, ou seja, a sua parte mais inicial, em frente ao Setor Comercial Sul e Setor de Rádio e televisão. Como a Via W3 Sul possui dois sentidos de tráfego, os horários de pico foram diferenciados por sentido. O horário fora de pico e de fluxo livre não foram diferenciados por sentido.

- ◆ Horário de pico Norte-Sul – 18:00 às 18:30 horas;
- ◆ Horário de pico Sul-Norte – 13:30 às 14:00 horas;
- ◆ Horário fora do pico – 15:00 às 16:00 horas;
- ◆ Horário fluxo livre - a partir das 24 horas.

Foram utilizadas na pesquisa um total de seis veículos: dois carros de passeio, três ônibus urbanos e um caminhão semi-pesado.

O critério de escolha dos carros médios foi de que estes veículos tivessem grande participação nas vendas internas. Foram escolhidos os modelos VW Passat a álcool e a gasolina que, apesar de isoladamente não apresentarem uma participação muito significativa nas vendas nos últimos anos, representam uma família de modelos de mecânica e características técnicas semelhantes (VW Voyage, Parati, Gol e Saveiro) a qual tem apresentado vendas muito superiores a outras famílias de veículos médios, como a do Ford Corcel e a do Chevrolet Chevette, por exemplo. Os dois veículos testados tinham características mecânicas idênticas, com exceção dos motores, a álcool ou a gasolina.

O ônibus urbano Mercedes Benz O 364 é um dos mais utilizados nas cidades brasileiras, além de seu motor Mercedes Benz OM 352 equipar a esmagadora maioria dos ônibus urbanos. O ônibus utilizado na pesquisa foi cedido pela Sociedade de Transportes Coletivos de Brasília (TCB) e compôs a frota da linha 137 (W3 Sul – Ida e volta).

O ônibus Padron com mecânica Volvo e carroceria Marcopolo, de propriedade do Geipot, foi também utilizado na linha 137 e operado pela TCB. Este tipo de ônibus faz parte de uma nova concepção de transporte urbano, onde o conforto do usuário, do motorista e do cobrador são

fatores de extrema importância. Este veículo é equipado com caixa de mudanças automática, marca Allison.

O terceiro tipo de ônibus testado foi um Scania com carroceria articulada Marcopolo. A vantagem deste tipo de ônibus é sua alta capacidade de carga (180 passageiros), o que o torna indicado para grandes corredores de tráfego. Este ônibus também foi cedido pela TCB e operou, também na linha 137.

Por último, foi testado um caminhão Mercedes-Benz 1113 com motor Mercedes Benz OM 352. Este caminhão estava equipado com terceiro eixo, além de um guindaste Munck. Este tipo de veículo, devido à sua capacidade de carga ampliada pelo terceiro eixo, é mais utilizado em rodovias. Tabela 2.3 apresenta as principais características técnicas dos veículos testados.

Tabela 2.3.Características técnicas dos veículos testados.

TIPO	Automóvel		Ônibus Convencional	Ônibus Padron	Ônibus Articulado	Caminhão
Marca	Volkswagem	Volkswagem	Mercedes Benz	Volvo/Marcopolo	Volvo/Marcopolo	Mercedes Benz
Modelo	Passat 4P	Passat 4P	O 364	B 58	B-111	L 1113
Ano	1983	1983	1985	1979	1979	1975
Motor	VW 1.6	VW 1.6	MBB OM 352	THD 100 D	DS 11	MBB OM 352
Combustível	álcool	gasolina	diesel	diesel	diesel	Diesel
Cilindrada (cm ³)	1.588	1.588	5.675	9.600	11.020	5.675
Potência (cv/rpm)	81/5.200	72/5.200	130/2.800	260/2.000	296/2.200	130/2.800
Câmbio	Mecânico	Mecânico	Mecânico	Automático	Mecânico	Mecânico
Marchas	4	4	5	4	5	5
Relação	3,45/1,70/1,07/0,78	3,45/1,70/1,07/0,78	7,504/3,984/2,299/1,387/1,000	3,58/2,09/1,39/1,00	6,24/3,36/1,88/1,28/1,00	8,98/4,77/2,75/1,66/1,00
Diferencial	4,11	4,11	6,857	5,43	8,35	6,142
Conversor de torque				2,20		
Pneus	4	4	6	6	10	10
Raio de giro (m)	0,2801	0,2801	0,5	0,548	0,544	0,466
Tara (kg)	915	890	7.400	9.560	15.000	8.100
Lotação	5 pax	5 pax	10 pax	105 pax	180 pax	9.750 kg

O sistema de obtenção de dados foi todo automático, denominado de sistema de caixa gravadora. Esta unidade armazenava todas as informações relevantes para a pesquisa. Alguns sensores e medidores foram empregados, tais como:

- ♦ Sensor de distância percorrida: parte de um odômetro eletrônico comercial marca DMI. Detecta a passagem de ímãs no interior do aro de uma das rodas do veículo. Os pulsos produzidos com o giro da roda são contados e armazenados na caixa gravadora;
- ♦ Medidor de consumo de combustível: foi utilizado um equipamento comercial de fabricação norte americana da marca COLUMBIA, com resolução de 3,8 ml, ou seja, a cada 3,8 ml de combustível o sensor produz um pulso que é armazenado na caixa gravadora;

Dois operadores ocupando lugares próximos às portas de entrada e de saída dos ônibus, acionavam botões de contagem de passageiros ligados à caixa gravadora.

As variáveis que apresentaram melhor correlação com o consumo foram: velocidade, número de paradas e alinhamento horizontal. Para melhor captar a influência da velocidade sobre o consumo, esta foi tomada em três níveis: seu inverso, para obter sua influência nas velocidades baixas e nas arrancadas, na sua medida direta, para captar os efeitos das velocidades médias normais do corredor, nos diferentes horários e ao quadrado, para verificar seu efeito em velocidades mais elevadas.

As equações de consumo médio foram obtidas em função do horário do levantamento dos dados. (pico, fora de pico e tráfego livre). Para cada caso, foram analisados o desvio padrão (σ), o parâmetro t da distribuição de *Student* e o nível de significância (ns) dos parâmetros estimados, assim como o coeficiente de determinação (R^2) do ajuste da curva. Os valores de R^2 variaram de 0,902 no melhor caso (ônibus Padron no horário de tráfego livre) até 0,172 no pior caso (automóvel VW Passat 1.6 a álcool no horário de tráfego livre).

Também foram levantadas as equações gerais de consumo de combustível, obtidas em função do volume total de observações, independente do horário. As equações que se relacionam ao presente estudo são apresentadas a seguir.

Ônibus Urbano Convencional – MB O 364

$$C = 0,429702 + 1,781382 V_m^{-1} - 0,003770 V_m + 0,035563 G \quad (2.5)$$

σ	(0,0870574)	(0,000418)	(0,003780)
t	(25,24)	(9,02)	(9,41)
ns	(0,0001)	(0,0001)	(0,0001)
$R^2 = 0,52$			
$n = 1435$			

Ônibus Padron – Volvo/Marcopolo

$$C = 0,850794 + 6,121182 V_m^{-1} - 0,026228 V_m + 0,000367 V_m^2 \quad (2.6)$$

σ	(0,082166)	(0,005639)	(0,000085)
t	(74,50)	(4,65)	(4,30)
ns	(0,0001)	(0,0001)	(0,0001)
$R^2 = 0,754$			
$n = 2535$			

Ônibus Articulado – Scania/Marcopolo

$$C = 0,711640 + 5,056750 V_m^{-1} - 0,010926 V_m + 0,000153 V_m^2 \quad (2.7)$$

$$\sigma \quad (0,099034) \quad (0,004391) \quad (0,000066)$$

$$t \quad (51,06) \quad (2,49) \quad (2,32)$$

$$ns \quad (0,0001) \quad (0,0129) \quad (0,0213)$$

$$R^2 = 0,593$$

$$n = 2476$$

Automóvel VW Passat 1.6 a gasolina

$$C = 0,049464 + 1,910553 V_m^{-1} + 0,000367 G \quad (2.8)$$

$$\sigma \quad (0,083843) \quad (0,001443)$$

$$t \quad (22,79) \quad (4,89)$$

$$ns \quad (0,0001) \quad (0,0001)$$

$$R^2 = 0,615$$

$$n = 337$$

Onde: C – consumo em l/km

V_m – velocidade média em km/h

G – greide ou alinhamento vertical da via em %

2.5.Considerações Finais

Os estudos avaliados apontam a velocidade, na sua razão direta, inversa e ao quadrado, como principal fator de explicação do consumo de combustível nos veículos analisados. Estas variáveis independentes são as que se apresentam com maior frequência nas equações de ajuste.

A inclusão do carregamento, em número de passageiros, aparece no trabalho de Balassiano (1980). Seu impacto na curva de consumo (equação 2.4) pode ser considerável, como apresentado na Figura 2.1, onde a curva “Carregado” representa o ônibus com lotação de 70 passageiros e a curva “Descarregado” representa o ônibus vazio. Diferenças da ordem de 23,5% podem ser observadas para as velocidades próximas da velocidade mais econômica (48 km/h). Esta diferença diminui a medida que a velocidade diminui ou aumenta. Para 5 km/h estima-se que a diferença seja da ordem de 10%.

A maior dificuldade em modelar o carregamento reside em realizar os levantamentos em diferentes horários de modo que se observe uma sensível variação de carregamento, caso contrário sua influência será imperceptível. A realização de um número expressivo de levantamentos e diversos horários normalmente envolve um maior custo, além disso, a escolha da linha deve favorecer esta variação de ocupação, o que nem sempre ocorre na intensidade necessária.

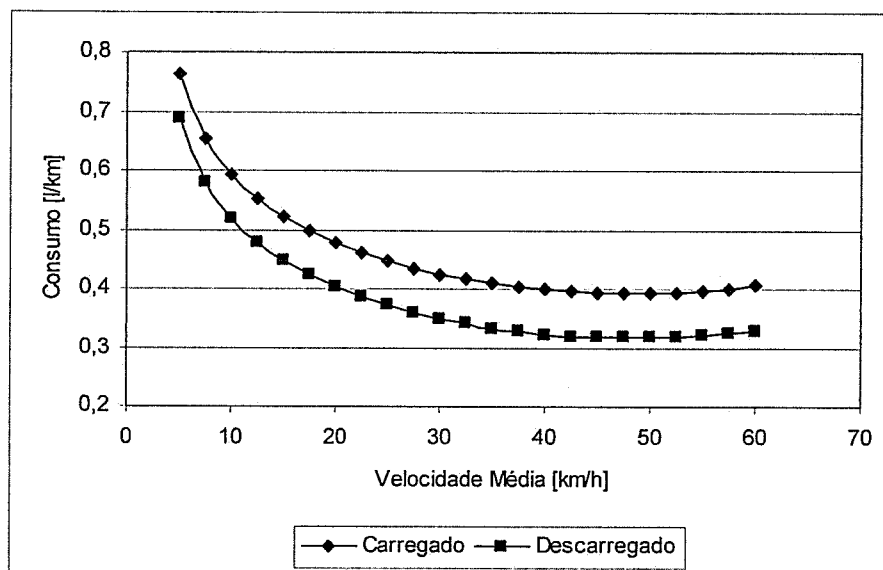


Figura 2.1. Curvas de consumo em função do carregamento, Balassiano (1980).

O modelo obtida no trabalho do GEIPOT (1986) não considera explicitamente a variação do carregamento (equação 2.5), que no caso apresentou menor influência no consumo que o alinhamento vertical (greide – G).

A melhor comparação do modelo do GEIPOT com o trabalho de Balassiano (1980) ocorre para um carregamento médio de 35 passageiros, para uma faixa de velocidade entre 5 e 40 km/h. Neste intervalo de velocidades a diferença máxima é de 10% (40 km/h) e os valores se igualam para velocidades em torno de 20 km/h, como pode ser visto na Figura 2.2. Nesta figura a curva “Carregamento 35 pax” foi obtida por meio da equação 2.5 e a curva “GEIPOT” foi obtida a partir da equação 2.5.

As diferenças crescentes para velocidades maiores que 40 km/h se devem a limitação do modelo do GEIPOT que não considera o termo V_m^2 . Com isso verifica-se que ao descartar o carregamento como uma variável explicativa explícita na equação de consumo, o modelo acaba considera um carregamento mais representativo das observações realizadas em campo, neste caso, um carregamento médio, se considerado que a lotação máxima do ônibus é de 70 passageiros.

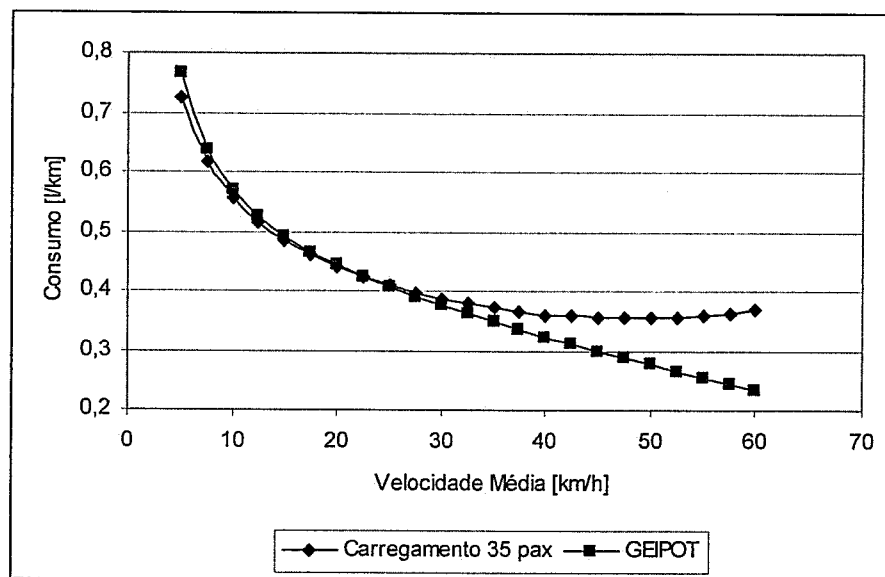


Figura 2.2.Comparação das curvas de consumo.

Assim sendo, além dos levantamentos necessários à determinação da velocidade média em cada trecho do percurso, recomenda-se para o caso dos ônibus que sejam feitos levantamentos de carregamento, em número de passageiros. A disponibilidade destes dados e sua variação determinarão sua inclusão ou não no modelo.

O problema de carregamento não é tão importante no caso dos automóveis. A maior dificuldade neste caso parece ser respeitar o carregamento típico nos automóveis, normalmente menor que 2 pessoas. Isto se deve ao fato de que as pesquisas dependem de pelo menos dois ocupantes: o motorista e o pesquisador.

Um comparativo entre o modelo de Santos (1980) e do GEIPOT (1986) é apresentado na Figura 2.3. Ambos os veículos apresentam a mesma cilindrada, cerca de 1.600 cm³, porém a relação peso potência é diferente. No caso do VW Brasília a relação peso potência é de 13,70 kg/hp, enquanto para o VW Passat este valor é de 15,92 kg/hp.

Para velocidades médias de até 15 km/h, o automóvel VW Passat apresenta consumo até 20% superior ao VW Brasília, sendo esta diferença decrescente com o aumento da velocidades. A partir dos 15 km/h, inverte-se o quadro, com um menor consumo para o automóvel VW Passat, que a partir de 40 km/h estabiliza num patamar onde se apresenta 20% mais econômico para qualquer velocidade. Comparativamente o veículo VW Passat apresenta melhores valores de

consumo para maiores velocidades médias, um reflexo da evolução tecnológica, considerando-se que o veículo foi projetado para trafegar em velocidades médias mais altas.

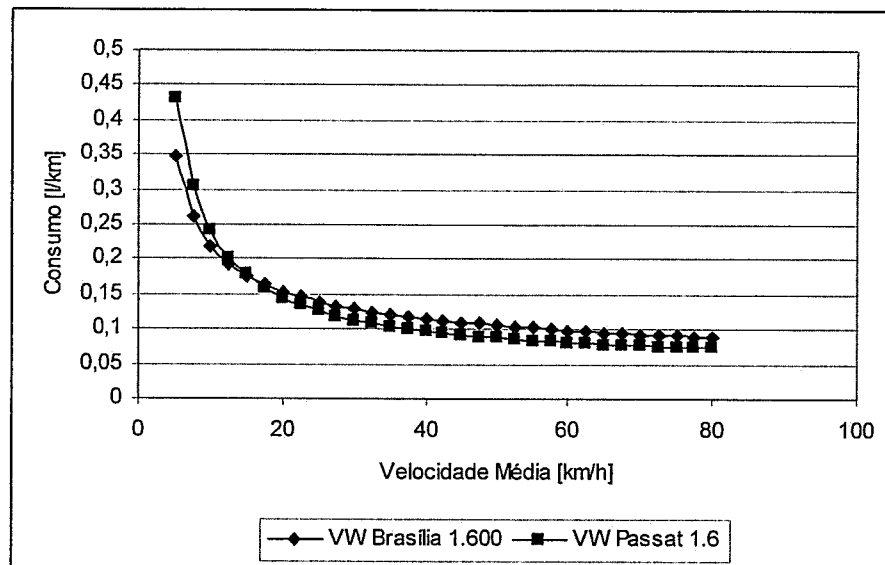


Figura 2.3.Comparativo dos automóveis.

Uma limitação observada em ambos os modelos de consumo desenvolvidos para automóveis é a não inclusão do termo V_m^2 , o torna as curvas monotonamente decrescentes. Na prática, depois de passar por um mínimo, a medida que a velocidade média aumente o consumo deveria aumentar.

Foram apresentados algumas comparações que podem ser feitas entre os resultados das pesquisas já realizadas e que podem ser estendidos para o presente trabalho. Além disso, os modelos anteriores orientam sobre que tipo de variáveis devem ser introduzidas no modelo a ser proposto.

3. REVISÃO DA METODOLOGIA

A metodologia tem como etapa inicial a determinação da área de estudo em função de sua relevância em relação a malha viária da Cidade do Rio de Janeiro. Estudos anteriores identificaram os principais percursos do tráfego urbano no Rio de Janeiro na época. Naturalmente a determinação da área de estudo do presente projeto de pesquisa, guarda um comprometimento com aquelas escolhidas em trabalhos anteriores (Balassiano, 1980 e Santos, 1980) uma vez que se pretende fazer uma comparação dos resultados.

Verificou-se que os percursos identificados anteriormente continuam a ser expressivos exemplos do perfil de tráfego da Cidade do Rio de Janeiro (Matheus, 2001), porém, como a cidade cresceu, o prolongamento destes percursos também foram incluídos. Este raciocínio se aplica diretamente à pesquisa de consumo para automóvel. No caso da linha de ônibus, seu percurso permaneceu aproximadamente igual.

Numa segunda etapa, detalhou-se os percursos e os procedimentos necessários para o levantamento das funções de consumo para os automóveis e ônibus. O levantamento dos percursos escolhidos foi realizado com auxílio de GPS (*Global Position System*) e podem ser mapeadas num SIG (Sistema de Informações Geográficas) servindo de base para o desenvolvimento dos levantamentos de campo e geração do banco de dados que acompanha o trabalho. O GPS permite que as distâncias sejam obtidas com grande precisão, dispensando equipamentos de medição no local.

Como terceira etapa determinou-se as características do veículo que pode ser considerado como o mais representativo da frota brasileira e portanto aquele que deverá ser empregado no levantamento de campo. Para o caso do automóvel e do ônibus urbano convencional, esta etapa partiu de uma análise expedita do mercado brasileiro de veículos. Adicionalmente, foram estudados os ônibus Padron convencional, Padron híbrido e microônibus, cuja escolha procura mostrar as futuras oportunidades em termos de transporte urbano de passageiro.

A seguir passou-se a quarta etapa, a dos levantamentos de campo, realizando-se um conjunto de viagens com os veículos de teste nos percursos escolhidos em diversos períodos do dia, buscando adequar este experimento a realidade do tráfego na Cidade do Rio de Janeiro. No caso dos ônibus Padron convencional e Padron híbrido o estudo foi feito em São Paulo, num corredor de via segregada para ônibus e trólebus. No entanto, por resultar no levantamento das curvas de

consumo em função da velocidade média, os resultados podem ser aplicados em outras capitais brasileiras que se interessem por esta tecnologia.

Na quinta etapa realizou-se a análise dos dados obtidos, por meio de ajuste de curvas. Quando possível, praticou-se uma análise comparativa com os resultados obtidos nos trabalhos de Balassiano (1980), Santos (1980) e GEIPOT (1986), e por conseguinte a determinação da evolução das curvas de consumo em função das modificações das condições de tecnologia empregada nos veículos e do tráfego.

4.ÁREA DE ESTUDO

Para o caso do automóvel, ônibus urbano convencional e microônibus, a área de estudo foi o Município do Rio de Janeiro. No caso dos ônibus Padron convencional e Padron híbrido, procurou-se identificar um corredor de transporte onde se dispusesse de via segregada, o que foi possível na Região Metropolitana de São Paulo.

Em função do crescimento da cidade, os percursos estudados por Santos (1980) que partiam da Zona Sul em direção ao centro (Leblon-Centro e Gávea-Centro), caracterizando um deslocamento radial, foram ampliadas, partindo da Barra da Tijuca (Zona Oeste).

A região da Barra da Tijuca, juntamente com Jacarepaguá, é uma das regiões que mais tem crescido em número de habitantes, com taxa superior a 30% no período de 1996 a 2000 (IPEA, 2001), enquanto a cidade como um todo cresceu apenas 5,36%. Este crescimento demográfico não foi acompanhado pelo crescimento na oferta de transporte público coletivo, que neste caso se restringe predominantemente aos ônibus. Inicialmente esta deficiência foi complementada pelo uso do automóvel particular, opção dos moradores de maior poder aquisitivo, e ultimamente por meio do transportes alternativo (*vans* e *kombis*), para a população de renda mais baixa.

Além disso, foi incluída um novo percurso radial, Grajaú-Centro, com a finalidade de estudar a ligação Zona Oeste – Centro via Zona Norte. Este percurso procura caracterizar as viagens realizadas com origem em Jacarepaguá e destino Centro, considerando a Estrada Menezes Cortes (Grajaú-Jacarepaguá) como ponto de partida.

Aplicou-se também o critério de expansão do percurso para o caso da única rota transversal estudada por Santos (1980). A ligação Copacabana-Ilha do Fundão foi ampliada para Copacabana-Parada de Lucas.

No que se refere ao percurso do ônibus urbano convencional, manteve-se aproximadamente a mesmo percurso estudado por Balassiano (1980), tendo em vista a identificação de uma linha com características similares. Esta linha caracteriza a ligação Zona Sul – Centro.

No caso do microônibus foi escolhido um trajeto representativo do serviço no Rio de Janeiro, como será apresentado na seção seguinte.

5.PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

Uma vez identificada a área de estudo, foi feito o detalhamento dos percursos para cada conjunto de pesquisas. O resultado desta etapa será apresentado a seguir.

5.1.Automóvel

A Tabela 5.1. apresenta os corredores de tráfego escolhidos para os levantamentos de campo. Cada corredor caracteriza um percurso, possuindo uma direção específica, onde se realizou os levantamentos nos dois sentidos. Cada corredor recebeu um número de percurso.

Tabela 5.1. Corredores, direções e percursos.

Corredor	Direção	Percurso
Barra- Centro/ Centro- Barra	Ligação radial Zona Oeste- Centro via litoral	1
São Conrado – Centro / Centro- São Conrado	Ligação radial Zona Sul- Centro via interior	2
Grajaú – Centro / Centro – Grajaú	Ligação radial Zona Norte- Centro	3
Copacabana – Parada de Lucas / Parada de Lucas – Copacabana	Ligação transversal Zona Sul- Zona Norte	4

Parte dos percursos 1,2 e 4 já faziam parte da pesquisa realizada por Santos (1980) e que serve como uma das referências do presente trabalho. Sua abrangência foi expandida, conforme Tabelas 5.3 e 5.4, apresentadas a seguir. A expansão se baseou em matéria publicada em O Globo, 31/03/2002, onde se destacam os corredores de tráfego que são críticos na cidade e que se referem aos antigos percursos. Com base nesta matéria, se sugere a inclusão do Percurso 3.

No que se refere à determinação dos horários para pesquisa, adotou-se o mesmo procedimento de trabalhos anteriores, identificando 3 períodos, conforme apresentado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Determinação dos períodos de pesquisa.

Classificação	Período
Pico Manhã	07:00 às 09:00
Entre-Pico	09:00 às 18:00
Pico Tarde	18:00 às 20:00

Tabela 5.3. Segmentação dos trechos – Percurso 1 e 2.

	Percurso 1		Percurso 2	
	Barra- Centro	Centro- Barra	São Conrado- Centro	Centro- São Conrado
Ponto Inicial	Interseção Av. das Américas- R. Alm. Heráclito da Graça Aranha. (Em frente ao Nova Ipanema)	Trevo Estudante Edson Luís de L. Souto sob o viaduto (Em frente ao aeroporto Santos Dumont)	Interseção Est. Lagoa Barra- R. S/N.	Av. Erasmo Braga (em frente ao Terminal Garagem Menezes Cortes)
Trecho 1	Av. das Américas ⁽¹⁾	Av. Enfant Dom Henrique	Auto Est. Lagoa Barra, R. Álvaro Americano, R. Marquês de São Vicente. ⁽¹⁾	Av. Graça Aranha, Av. Calógeras, Av. Pres. Wilson, Av. Beira Mar, Praia do Flamengo
Ponto Intermediário	Início do viaduto sobre o Canal de Marapendi.	Av. Enfant Dom Henrique (em frente ao Morro da Viúva)	Praça Santos Dumont.	Praia do Flamengo (em frente ao Hotel Glória).
Trecho 2	Av. Armando Lombardi, Av. Ministro Ivan Lins, Ponte da Joatinga, Túnel do Joá, Elevado das Bandeiras, Túnel São Conrado, Estrada Lagoa Barra. ⁽¹⁾	Av. Infante Dom Henrique, Av. das Nações Unidas.	R. Jardim Botânico	Praia do Flamengo, Av. Oswaldo Cruz.
Ponto Intermediário	Interseção Estrada Lagoa Barra- R. S/N.	Av. das Nações Unidas (junto ao Túnel do Pasmado).	Interseção R. Jardim Botânico- R. Conde Afonso Celso	Interseção Av. Oswaldo Cruz- Praia de Botafogo.
Trecho 3	R. S/N, Av. Prefeito Mendes de Moraes, Av. Niemeyer. ⁽¹⁾	Av. Lauro Sodré, Av. Princesa Isabel.	R. Jardim Botânico, R. Humaitá	Praia de Botafogo
Ponto Intermediário	Interseção Av. Niemeyer- Av. Delfin Moreira	Conexão Av. Princesa Isabel- Av. Atlântica	Interseção R. Humaitá- R. Voluntários da Pátria.	Interseção Praia de Botafogo- R. São Clemente.
Trecho 4	Av. Delfin Moreira, Av. Vieira Souto, R. Francisco Otaviano	Av. Atlântica	R. Voluntários da Pátria	R. São Clemente
Ponto Intermediário	Conexão R. Francisco Otaviano- Av. Atlântica (próximo ao Clube dos Marimbás)	Interseção Av. Atlântica- R. Figueiredo Magalhães.	Interseção R. Voluntários da Pátria- Praia de Botafogo	R. São Clemente (próximo ao Largo dos Leões)
Trecho 5	Av. Atlântica	Av. Atlântica	Praia de Botafogo, Av. Rui Barbosa	R. São Clemente, R. Humaitá, R. Jardim Botânico
Ponto Intermediário	Interseção Av. Atlântica- R. Figueiredo Magalhães	Conexão Av. Atlântica- R. Joaquim Nabuco.	Av. Rui Barbosa (em frente ao Morro da Viúva)	Interseção R. Jardim Botânico- R. Conde Afonso Celso.
Trecho 6	Av. Atlântica	R. Joaquim Nabuco, Av. Vieira Souto, Av. Delfim Moreira.	Praia do Flamengo, Av. Beira Mar, Av. Pres. Antônio Carlos, Av. Erasmo Braga.	R. Jardim Botânico
Ponto Intermediário	Conexão Av. Atlântica- Av. Princesa Isabel	Interseção Av. Niemeyer- Av. Delfin Moreira		Praça Santos Dumont
Trecho 7	Av. Princesa Isabel, Túnel Engo. Marques Porto, Av. Lauro Sodré, Av. Venceslau Brás, Av. Pasteur	Av. Niemeyer ⁽¹⁾		Av. Rodrigo Otávio, Praça Sibelius, Av. Pe. Leonel França, Auto Est. Lagoa Barra. ⁽¹⁾
Ponto Intermediário	Conexão Av. Pasteur- Av. Repórter Nestor Moreira	Interseção Av. Niemeyer- Estrada da Gávea		
Trecho 8	Av. Repórter Nestor Moreira, Av. das Nações Unidas, Av. Enfant Dom Henrique.	Estrada da Gávea, Estrada Lagoa Barra, Túnel São Conrado, Elevado das Bandeiras, Túnel do Joá, Ponte da Joatinga, Av. Ministro Ivan Lins, Av. Armando Lombardi ⁽¹⁾		
Ponto Intermediário		Final do viaduto sobre o Canal de Marapendi		
Trecho 9		Av. das Américas ⁽¹⁾		
Ponto Final	Trevo Estudante Edson Luís de L. Souto (sob o viaduto) (em frente ao aeroporto Santos Dumont)	Av. das Américas (em frente ao New York City Center).	Av. Erasmo Braga (em frente ao Terminal Garagem Menezes Cortes)	Interseção Estrada Lagoa Barra com R. S/N (em frente ao retorno).

Nota: (1) Trechos acrescentados ao estudo de Santos (1980).

Tabela 5.4. Segmentação dos trechos – Percurso 3 e 4.

	Percurso 3 ⁽¹⁾		Percurso 4	
	Grajaú- Centro	Centro- Grajaú	Copacabana- P.Lucas	P. Lucas- Copacabana
Ponto Inicial	Praça Demócrito Linhares	Praça Pio X (Igreja da Candelária)	Praça Eugênio Jardim	Av. Brasil- Trevo das Missões (acesso ao retorno)
Trecho 1	R. Barão de Bom Retiro, R. Teodoro da Silva	Av. Pres. Vargas	Av. Henrique Dodsworth, Av. Eptácio Pessoa	Av. Brasil ⁽¹⁾
Ponto Intermediário	Interseção R. Teodoro da Silva- R. Pereira Nunes	Interseção Av. Pres. Vargas- R. de Santana	Av. Eptácio Pessoa (próximo ao número 2.500)	Av. Brasil (sob o Viaduto de Manguinhos- Linha Amarela).
Trecho 2	Av. Prof. Manoel de Abreu	Av. Pres. Vargas, Viaduto dos Marinheiros	Av. Eptácio Pessoa, Viaduto Engo. Humberto Vital Bandeira de Melo, Viaduto Saint Hilaire (Acesso ao Túnel Rebouças)	Av. Brasil
Ponto Intermediário	Conexão Av. Prof. Manoel de Abreu- Av. Pres. Castelo Branco	Praça da Bandeira (descida do Viaduto dos Marinheiro)	Entrada do Túnel Rebouças	Av. Brasil (em frente ao Cemitério do Cajú)
Trecho 3	Av. Pres. Castelo Branco, R. Teixeira de Castro	Av. Pres. Castelo Branco	Túnel Rebouças	Viaduto do Gasômetro, R. Francisco Bicalho.
Ponto Intermediário	Praça da Bandeira (acesso ao Viaduto dos Fuzileiros)	Conexão Av. Pres. Castelo Branco- R. Turfe Clube	Saída Norte do Túnel Rebouças	Acesso ao Viaduto Paulo de Frontin
Trecho 4	Viaduto dos Fuzileiros, Av. Pres. Vargas	R. Turfe Clube, Boulevard 28 de Setembro	Viaduto Paulo de Frontin	Viaduto Paulo de Frontin
Ponto Intermediário	Interseção Av. Pres. Vargas- R. de Santana	Interseção Boulevard 28 de Setembro- Rua Pereira Nunes	Ponto sobre o Viaduto dos Marinheiros	Entrada Norte do túnel Rebouças
Trecho 5	Av. Pres. Vargas	Boulevard 28 de setembro	R. Francisco Bicalho, Viaduto do Gasômetro, Av. Brasil	Túnel Rebouças
Ponto Intermediário		Praça Barão de Drumond	Av. Brasil (em frente ao Cemitério do Cajú)	Saída Sul do túnel Rebouças
Trecho 6		R. Visconde de Santa Isabel	Av. Brasil	Viaduto Saint Hilaire, Viaduto Engo. Humberto Vital Bandeira de Melo, Av. Borges de Medeiros (Acesso ao Túnel Rebouças).
Ponto Intermediário			Av. Brasil (sob o Viaduto de Manguinhos- Linha Amarela	Av. Borges de Medeiros (próximo ao Clube Piraquê).
Trecho 7			Av. Brasil ⁽¹⁾	Av. Borges de Medeiros, Av. Eptácio Pessoa, Av. Henrique Dodsworth
Ponto Intermediário				
Trecho 8				
Ponto Intermediário				
Trecho 9				
Ponto Final	Praça Pio X (Igreja da Candelária)	Praça Demócrito Linhares	Av. Brasil- trevo das Missões (acesso ao retorno)	Praça Eugênio Jardim

Nota: (1) Trechos ou percurso acrescentados ao estudo de Santos (1980);

A Figura 5.1 apresenta o mapa de parte do Município do Rio de Janeiro com a indicação dos percursos que fizeram parte da pesquisa. As linhas representam o Percurso 1 (Barra – Centro); Percurso 2 (São Conrado – Centro); Percurso 3 (Grajaú – Centro) e Percurso 4 (Copacabana – Parada de Lucas).



Figura 5.1. Percursos envolvidos na pesquisa com automóvel.

A definição do tamanho da amostra para cada percurso foi feita com base na variação da velocidade média e da velocidade corrida. Porém, isto exigiria que se fizessem pelo menos 5 viagens por percurso, antes de iniciar o levantamento de dados. De modo a ganhar tempo e conciliar disponibilidade do veículo e equipamentos, nem sempre isso foi possível, como pode ser visto na Tabela 5.5.

Tabela 5.5. Determinação do número de repetições de cada percurso.

Percurso	Sentido	Horário	Dist [km]	Velocidade Média [km/h]			Velocidade Corrida [km/h]			Média (A+B)/2	Tamanho da Amostra ⁽¹⁾	
				Máxima	Mínima	Dif. A	Máxima	Mínima	Dif. B		Mínimo	Realizado
1	Barra-Centro	Entre pico	30,7	41,61	30,16	11,46	47,07	37,38	9,69	10,58	4	4
1	Barra-Centro	Pico manhã	30,7	49,12	34,56	14,56	53,89	37,98	15,91	15,23	5	5
1	Centro-Barra	Entre pico	31,7	42,65	30,62	12,03	48,81	37,63	11,18	11,61	4	5
1	Centro-Barra	Pico tarde	31,7	29,17	28,56	0,61	34,84	32,35	2,49	1,55	2	3
2	Centro-São Conrado	Entre pico	15,2	23,64	18,76	4,88	30,50	27,85	2,65	3,77	2	4
2	Centro-São Conrado	Pico tarde	15,2	21,71	11,76	9,96	27,64	26,21	1,43	5,69	2	5
2	São Conrado-Centro	Entre pico	16,6	23,03	17,05	5,97	30,49	24,23	6,26	6,12	3	5
2	São Conrado-Centro	Pico manhã	16,6	25,20	14,67	10,54	31,13	20,00	11,13	10,83	4	4
3	Centro-Grajaú	Entre pico	9,3	32,47	25,12	7,36	40,29	33,18	7,11	7,23	3	5
3	Centro-Grajaú	Pico tarde	9,3	23,63	13,30	10,33	28,49	22,90	5,59	7,96	3	5
3 ⁽²⁾	Grajaú-Centro	Entre pico	9,7	33,84	10,92	22,91	50,17	19,91	30,26	26,59	>8 ⁽²⁾	5
3 ⁽²⁾	Grajaú-Centro	Pico manhã	9,7	35,06	12,64	22,42	43,54	18,69	24,85	23,63	8 ⁽²⁾	5
4 ⁽²⁾	Copacabana-Parada de Lucas	Entre pico	24,6	60,74	39,41	21,33	61,80	46,27	15,53	18,43	6 ⁽²⁾	5
4 ⁽²⁾	Copacabana-Parada de Lucas	Pico tarde	24,6	48,00	20,41	27,59	49,36	26,64	22,72	25,16	>8 ⁽²⁾	5
4	Parada de Lucas-Copacabana	Entre pico	24,2	47,53	38,14	9,39	48,35	45,26	3,09	6,24	2	4
4	Parada de Lucas-Copacabana	Pico manhã	24,2	30,53	17,13	13,40	31,47	18,63	12,84	13,12	4	5

Notas: (1) Tamanho da amostra mínimo necessário para um erro permitido específico de $\pm 5,0 km/h$ e nível de confiança de 95%, segundo Oppenlander apud Santos (1980); (2) Percursos críticos onde o tamanho mínimo da amostra não foi atingido. Neste caso, um menor tamanho de amostra implica em erro permitido específico maior, de $\pm 8,0 km/h$ e nível de confiança de 95%.

As variáveis levantadas em cada trecho foram:

- ♦ Distância percorrida [km];
- ♦ Tempo total [min];
- ♦ Número de paradas por trecho;
- ♦ Tempo parado [min];
- ♦ Consumo de combustível [l]

Para todo o tempo de pesquisa o veículo foi ocupado por um motorista e um pesquisador, responsável por anotar o consumo acumulado de combustível e o tempo corrido. Por uma questão de coerência com o trabalho de Santos (1980) não foram realizados levantamentos em dias de chuvas e em caso de ocorrência de acidente na pista para algum dos trechos.

5.2.Ônibus

Para o caso das pesquisas com o ônibus urbano convencional, procurou-se escolher uma linha que possuísse alguma similaridade com aquela apresentada no trabalho de Balassiano (1980). Identificou-se que a Empresa Saens Peña opera a linha radial sul, número de identificação 125 - Estrada de Ferro (Central) x Praça General Osório que se enquadra parcialmente neste requisito. Seu percurso total é de 29,8 Km sendo 14,2 km no sentido Central x Praça General Osório e 15,6 km no sentido Praça General Osório x Central. A Tabela 5.6 apresenta a descrição do percurso e dos trechos pesquisados

Num levantamento preliminar do percurso, não foi possível identificar horários e sentidos com maior intensidade de tráfego, que reproduzissem períodos de pico e entre pico para cada sentido (Centro – Zona Sul ou Zona Sul – Centro). Assim sendo, os horários de levantamento foram distribuídos de modo a considerar vários períodos do dia, com horários de partida do terminal Central que estivessem classificados em 4 intervalos de tempo: (1) 08:00 as 09:59hs; (2) 10:00 as 11:59hs; (3) 12:00 as 14:59hs e (4) acima de 14:59hs.

Ao todo foram realizados 20 pesquisas durante sete dias, contemplando sempre o circuito como um todo (Centro – Zona Sul – Centro). A Tabela 5.7 apresenta os dias de realização das pesquisas (dia do mês e da semana) e os respectivos horários, enquadrados dentro dos 4 intervalos de tempo. Como pode ser visto, foram realizadas no mínimo 4 e no máximo 6 repetições para cada intervalo de tempo.

Tabela 5.6. Percurso da pesquisa para o ônibus urbano convencional.

Ponto	Referência	[km]
0	Terminal da Central	0,0
1	Av. Passos, 89	1,0
2	Av. Passos, Teatro Nelson Rodrigues	1,7
3	Av. Rio Branco, Bibl. Nacional	2,7
4	Av. Nações Unidas Hotel Glória	7,2
5	Av. Nações Unidas Ed. Argentina	7,7
6	Av. Lauro Sodré, Canecão	9,1
7	R. Barata Ribeiro, 48	10,1
8	R. Barata Ribeiro, 250	10,7
9	R. Barata Ribeiro, 560	11,0
10	R. Barata Ribeiro, 746	12,2
11	R. Prudente de Moraes, Pça. Gal. Osório [Terminal]	14,2
12	R. Francisco de .Sá, 89	14,8
13	Av. Nossa Senhora de Copa., Correios 1049	15,6
14	Av. Nossa Senhora de Copa., CEF	16,1
15	Av. Nossa senhora de Copa., 685	16,5
16	Av. Nossa Senhora de Copa, Pça	16,9
17	Av. Princesa Isabel, 166	18,2
18	Av. Lauro Sodré, Rio Sul	19,0
19	Av. Nações Unidas, Ponto 1	20,4
20	Av. Antônio Carlos, Fórum	27,0
21	Av. Presidente Vargas, Ponto 2	28,4
22	Terminal da Central Entrada	29,4
23	Terminal da Central Ponto Inicial	29,8

Tabela 5.6.Dias e horários dos levantamentos de campo.

Dia do mês	Dia da semana	Horário de partida do terminal Central	Intervalo de tempo
22/05/2003	Quinta-feira	09:00	1
		14:16	3
29/05/2003	Quinta-feira	13:00	3
		15:00	4
30/05/2003	Sexta-feira	08:47	1
		10:37	2
		16:23	4
		18:02	4
02/06/2003	Segunda-feira	13:45	3
		15:40	4e
03/06/2003	Terça-feira	08:25	1
		10:09	2
04/06/2003	Quarta-feira	08:59	1
		10:57	2
		13:50	3
		15:29	4
05/06/2003	Quinta-feira	08:55	1
		10:34	2
		13:50	3
		15:35	4

A Tabela 5.8 apresenta o teste para determinação do tamanho mínimo da amostra para cada sentido da pesquisa, considerando os 4 intervalos de tempo pré definidos. Neste caso foi possível obter o tamanho da amostra mínimo necessário para um erro permitido específico de $\pm 3,5\text{km/h}$ e nível de confiança de 95%, seguindo o procedimento definido por Oppenlander apud Santos (1980)

Tabela 5.8.Tamanho mínimo da amostra.

Intervalo de tempo	Sentido	Velocidade Média [km/h]			Tamanho da amostra	
		Máxima	Mínima	Diferença	Mínimo	Realizado
1	Centro - Zona Sul	21,85	19,36	2,48	2	5
	Zona Sul - Centro	20,35	17,33	3,01	2	5
2	Centro - Zona Sul	25,06	20,29	4,77	3	4
	Zona Sul - Centro	20,35	15,60	4,75	3	4
3	Centro - Zona Sul	21,85	18,93	2,91	2	5
	Zona Sul - Centro	19,91	13,37	6,55	3	5
4	Centro - Zona Sul	21,85	18,13	3,72	3	6
	Zona Sul - Centro	19,10	13,37	5,73	3	6

As variáveis levantadas em cada trecho do percurso foram:

- ♦ Distância percorrida [km];
- ♦ Tempo total [min];
- ♦ Número de paradas por trecho;
- ♦ Tempo parado [min];
- ♦ Consumo de combustível [l]
- ♦ Número de passageiros.

Na realização das pesquisas foram necessários 4 pesquisadores sendo: 1 pesquisador destinado à coleta dos dados referentes ao embarque e desembarque pela porta dianteira; 1 pesquisador responsável pela contagem de embarque e desembarque pela porta traseira; 1 pesquisador anotando o tempo e o consumo nos pontos de referência e 1 pesquisador anotando os tempos e motivos das paradas ao longo do percurso. O posicionamento dos pesquisadores dentro do veículo está representado pela Figura 5.2.

Todas as informações foram anotadas numa planilha impressa, auxiliando na organização dos dados para posterior tabulação utilizando o programa Microsoft Excel. Um modelo desta planilha encontra-se em anexo.

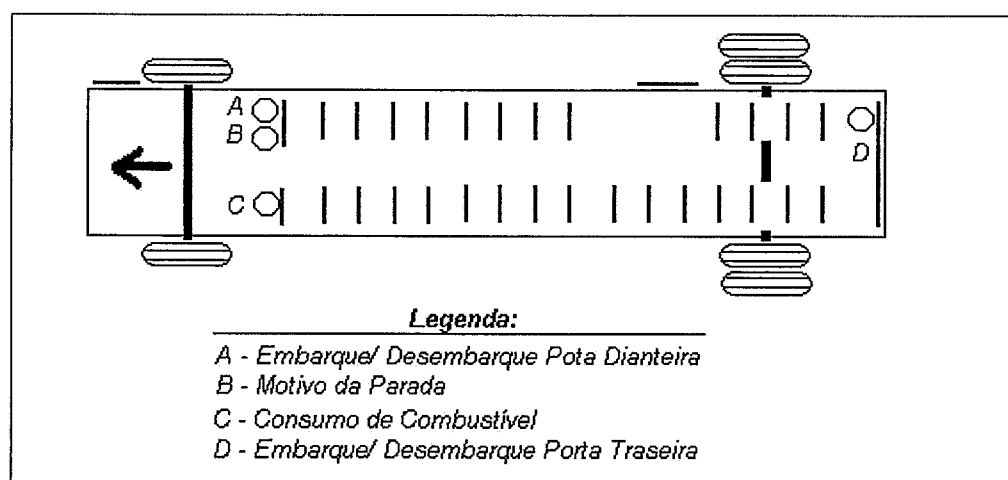


Figura 5.2. Esquema do posicionamento dos pesquisadores no interior do ônibus.

Todo o percurso da pesquisa apresentava pista plana e com pavimento asfáltico em bom estado de conservação, tendo em vista representar uma rota urbana ligando o Centro à Zona Sul da cidade. Não foram realizados levantamentos em dias de chuva.

O aparelho utilizado para medir o consumo de combustível no ônibus urbano convencional foi o EDM 1401 (*Electronic Diesel Consumption Measuring System* – Sistema Eletrônico para Medida do Consumo de Diesel) da marca *VDO Kienzle*.

O EDM 1401 possui dois medidores eletrônicos de vazão combinados em uma unidade. No primeiro medidor o combustível fornecido é medido, ou seja, o combustível que sai do tanque em direção ao motor. No segundo medidor, o retorno do combustível é medido (retorno do combustível é o combustível que não foi utilizado pelo motor e, por isso, é retornado ao tanque).

Por meio de um sistema eletrônico integrado ao medidor de vazão, é calculado o consumo pela diferença entre o combustível fornecido e o retorno, sendo disponibilizado, por meio de sinal eletrônico, para um dispositivo de registro. Para a pesquisa em questão foi utilizada uma unidade de *display* compacta, que apresenta o valor acumulado a cada 100 ml de óleo diesel consumido.

Mesmo sabendo-se que existem sensíveis influências do estado emocional do motorista nos padrões de consumo de combustível (Santos, 1980), não se pode escolher um motorista fixo, tendo em vista que o veículo se encontrava em operação normal.

5.3. Ônibus Padron convencional (Padron C) e ônibus Padron híbrido (Padron H).

Conforme apresentado na seção 4, as pesquisas de consumo para os ônibus Padron convencional (Padron C) e Padron híbrido (Padron H), veículo cuja descrição será apresentada na seção 6,

foram realizadas no trecho entre os terminais São Bernardo do Campo e Jabaquara do Corredor Metropolitano São Mateus – Jabaquara, na Região Metropolitana de São Paulo. Este corredor é operado pela METRA - Sistema Metropolitano de Transportes Ltda, que cedeu o ônibus Padron convencional para testes. Os testes foram realizados nos dias 15 e 17 de setembro de 2002. A seguir apresenta-se a descrição do corredor.

O percurso foi mapeado com auxílio de um equipamento de GPS (*Global Position System*) para determinação de pontos geo-referenciados e posterior obtenção dos comprimentos dos segmentos de via. Nesta mesma ocasião foi feita a vistoria do trecho quanto às condições físicas da pista e seu alinhamento. A Figura 5.2 apresenta o diagrama do trecho do corredor de transporte da METRA utilizado para os testes de consumo e a Tabela 5.9 a distância entre os pontos de parada.

O trecho escolhido para testes apresenta pista plana com pavimento de blocos de concreto em perfeito estado em toda a sua extensão e sinalização semafórica nas intercessões transversais. A configuração viária apresenta pistas de mesma direção e sentidos opostos, com separação longitudinal do tráfego externo, compreendendo um circuito fechado que se inicia e termina no ponto São Bernardo do Campo LE (Terminal), passando por cinco paradas para intercâmbio de passageiros, em ambos os sentidos e manobra de retorno no terminal Ferrazópolis.

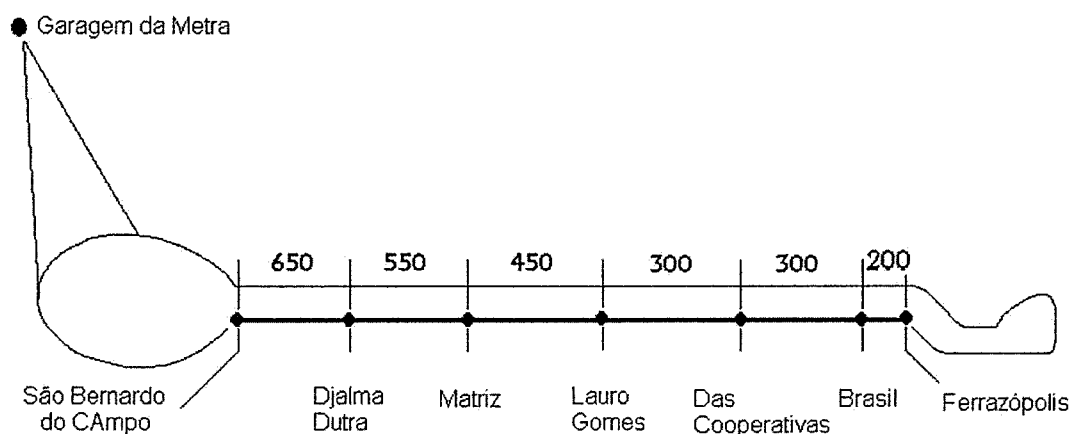


Figura 5.2. Diagrama do trecho do corredor de transporte da METRA.

Tabela 5.9. Distância entre os pontos de parada.

Número	Tipo	Nome	Segmento	Distância [km]
1	Garagem	METRA		
2	Terminal	São Bernardo	.1-2	3,00

3	Parada	Djalma Dutra	.2-3	0,65
4	Parada	Matriz	.3-4	0,55
5	Parada	Lauro Gomes	.4-5	0,45
6	Parada	Cooperativas	.5-6	0,30
7	Parada	Brasil	.6-7	0,30
8	Terminal	Ferrazópolis	.7-8	0,80
9	Parada	Brasil	.8-9	0,20
10	Parada	Cooperativas	.9-10	0,35
11	Parada	Lauro Gomes	.10-11	0,30
12	Parada	Matriz	.11-12	0,45
13	Parada	Djalma Dutra	.12-13	0,50
14	Terminal	São Bernardo LD	.13-14	0,70
15	Terminal	São Bernardo LE	.13-15	1,70
16	Garagem	METRA	.14-16	4,00

Como um dos objetivos desta pesquisa era o de comparar as curvas de consumo das duas diferentes tecnologias de propulsão – Padron convencional e Padron híbrida – e tendo em vista que a empresa operadora do corredor de transporte permitiu que os ônibus fossem retirados de operação para teste, optou-se por realizar o levantamento das curvas de consumo em duas situações: (1) ambos os veículos com carregamento total e (2) ambos os veículos descarregados.

Antes de iniciar os testes os veículos foram pesados, verificando-se que o peso real do veículo Padron C (10.980 kgf) era 13,61 % menor que o obtido para o veículo Padron H (12.710 kgf). Para eliminar esta diferença foi necessário instalar um lastro de 1.730 kg no veículo Padron C para realizar os testes na condição descarregado.

Ambos os testes foram realizados considerando duas situações, veículo carregado com 5.500 kg, representando uma ocupação total e veículo descarregado, onde apenas o motorista e a equipe de teste, composta de 4 pessoas, se encontrava a bordo do veículo. A ocupação escolhida para os testes se justifica em função da estimativa de carregamento médio observado no corredor metropolitano de transporte.

O carregamento dos veículos foi simulado por meio da instalação de tambores com capacidade de 125 litros de água. O veículo foi carregado com tambores vazios, sendo os recipientes cheios de água posteriormente para simular o carregamento. Este procedimento também permite a simulação de carregamentos parciais, considerando um menor número de tambores.

Para cada condição de carga do veículo (carregado e descarregado) o circuito foi realizado pelo menos cinco vezes, anotando-se o consumo e o tempo corrido de teste em cada ponto da Tabela

5.9, de modo a obter uma massa de dados de consumo de combustível em função do tempo de teste, que pudesse ser relacionado à distância percorrida. O tamanho da amostra foi obtido por meio de um teste piloto, realizando-se o circuito 3 vezes e medindo-se o tempo para cálculo da velocidade, como pode ser visto na Tabela 5.10. Neste caso, adotou-se o tamanho da amostra mínimo necessário para um erro permitido específico de $\pm 5,0 \text{ km/h}$ e nível de confiança de 95%, conforme Oppenlander apud Santos (1980). Também é necessário que se considere que como trata-se de um corredor segregado, com pequena interferência do tráfego externo, que só ocorre nas interseções transversais, a velocidade média varia pouco ao longo do dia.

O levantamento dos dados de consumo do veículo Padron C foi realizado simultaneamente ao do veículo Padron H, com um veículo acompanhando o outro na configuração líder e seguidor. Com isto se buscou minimizar as diferenças de condição de tráfego encontrada por cada veículo. Ao fim de cada ciclo a posição relativa dos veículos era invertida, para permitir o revezamento do veículo líder.

Tabela 5.10. Tamanho da amostra para o teste no corredor metropolitano.

Tipo	Denominação	Velocidade Média [km/h]						Tamanho da amostra	
		Piloto 1	Piloto 2	Piloto 3	Máxima	Mínima	Diferença	Mínimo	Realizado
Terminal	São Bernardo								
Parada	Djalma Dutra	11,30	13,60	13,45	13,60	11,30	2,30	2	5
Parada	Matriz	16,50	12,22	11,72	16,50	11,72	4,78	2	5
Parada	Lauro Gomes	21,04	14,73	17,61	21,04	14,73	6,31	3	5
Parada	Cooperativas	13,01	11,13	13,01	13,01	11,13	1,88	2	5
Parada	Brasil	20,77	12,71	9,39	20,77	9,39	11,38	4	5
Terminal	Ferrazópolis	14,55	10,91	12,36	14,55	10,91	3,64	2	5
Parada	Brasil	6,73	8,09	7,66	8,09	6,73	1,36	2	5
Parada	Cooperativas	9,55	12,48	9,84	12,48	9,55	2,93	2	5
Parada	Lauro Gomes	18,62	18,31	10,59	18,62	10,59	8,03	3	5
Parada	Matriz	17,42	16,04	31,15	31,15	16,04	15,11	5	5
Parada	Djalma Dutra	11,84	16,67	15,13	16,67	11,84	4,82	2	5

Para medir o consumo de combustível utilizou-se um medidor de fluxo adaptado ao sistema de alimentação do motor do veículo. O equipamento fornece o consumo de combustível, com precisão de centésimo de litro e o tempo de teste, com precisão de décimo de segundos. Antes de realizar os testes o equipamento foi calibrado, adaptando-o no circuito de retorno do sistema de alimentação do motor diesel e recolhendo o combustível em uma bureta graduada. O volume recolhido foi comparado com o volume medido apresentando erro inferior a 1% em um conjunto de 5 experimentos.

Parte da energia consumida pelo motor elétrico do veículo Padron H vem das baterias, assim,

para garantir que as medidas de consumo de combustível representassem as mesmas condições de carga nas baterias a cada ponto de medição, adotou-se iniciar o teste com as baterias carregadas e a cada parada, anotar o consumo de combustível só depois que a carga das baterias chegasse a 100%, valor observado em potenciômetro instalado no painel de controle do veículo. O tempo estabelecido para parada em cada ponto, cerca de 10 segundos, satisfaz plenamente esta condicionante.

Neste caso, as variáveis levantadas em cada trecho do percurso foram apenas:

- ♦ Distância percorrida [km];
- ♦ Tempo total [min];
- ♦ Número de paradas por trecho;
- ♦ Consumo de combustível [l]

Durante todo o teste os veículos foram operados pelos mesmos motoristas, de que pudessem ser evitadas ou minimizadas as variações do consumo de combustível em função de diferentes formas de conduzir o veículo.

5.4. Microônibus

Na escolha da rede para a realização da pesquisa de campo buscou-se priorizar aquelas que cobrissem corredores de tráfego, da cidade do Rio de Janeiro, que retratassem as diversas condições de circulação dos veículos.

Com esse propósito, foi selecionado, considerando a disponibilidade de microônibus para a realização dos testes, a linha circular SC003, que liga o bairro Grajaú ao Centro, passando pelos bairros Andaraí, Aldeia Campista, Maracanã e Cidade Nova, cujo itinerário é apresentado na Tabela 5.11.

Objetivando uma melhor representação da variação do consumo de combustível e uma menor imprecisão nos dados coletados, os itinerários foram subdivididos em trechos que apresentavam um comportamento até certo ponto homogêneo, no que diz respeito às características do fluxo de veículos.

Tabela 5.11. Itinerário da linha SC003.

Grajaú – Centro	Trechos	Centro - Grajaú	Trechos
Vias		Vias	
Edmundo Rego, Pça	1	Nilo Peçanha, AV.	1
Júlio Furtado, Rua	1	Graça Aranha, AV.	1

Borda do Mato, Rua	1	Barroso, Av. Alm.	1
BambuÍ, Rua	1	Antônio Carlos, Av. Presidente	1
Rosa e Silva, Rua	1	Primeiro de Março, Rua	1
Nobel, Pça.	1	Pio X, Pça	1
Campinas, Rua	1	Vargas, Av. Presidente	1
Uberaba, Rua	1	Vargas, Av. Presidente até esquina com Santana, Rua	1
Gastão Penalva, Rua	1	Vargas, Av. Presidente entre Santana, Rua e Bandeira, Pça	2
Paula Brito, Rua esquina c/ Mesquita, Rua Br.	1	Bandeira, Pça	3
Mesquita, Rua Br.	2	Oswaldo Aranha, Av.	3
Uruguai, Rua	2	Oduvaldo Cozzi, Vd.	3
Maxwell, Rua	2	Maracanã, Av.	3
Pereira Nunes, R. esquina c/ Mesquita, Rua Br.	2	Varnhagem, Pça	3
Mesquita, Rua Br.	3	Maracanã, Av.	3
Paula Souza, Av.	3	Lamartine Babo, Pça.	3
Maracanã, Av.	3	Mesquita, Rua Br. Até esquina com Silva Teles, Rua	3
Oswaldo Aranha, Rua	3	Mesquita, Rua Br. Entre Silva Teles, Rua e Uruguai, Rua	4
Teixeira Soares, Rua	3	Uruguai, Rua até esquina com Maxwell, Rua	4
Bandeira, Pça.	3	Maxwell, Rua	5
Fuzileiros, Vd. Dos (a partir da Bandeira, Pça)	4	Via Láctea, Rua	5
Vargas, Av. Presidente até esquina com Amoroso, Rua	4	Nossa Sra. Lourdes, Av.	5
Vargas, Av. Presidente entre Amoroso, Rua e Rio Branco, Av.	5	Duquesa de Bragança	5
Rio Branco, Av.	6	Mesquita, Rua Br.	5
Porto Alegre, Rua	6	Verdín, Lgo	5
Antônio Carlos, Av. Presidente	6	Sá Vianna, Rua	5
Nilo Peçanha, Av. (PC)	6	Nobel, Pça	5
		Rosa e Silva, Rua	6
		BambuÍ, Rua	6
		Borda do Mato, Rua	6
		Júlio Furtado, Av.	6
		Edmundo Rego, Pça	6

Assim sendo, seis grandes trechos foram determinados e, por meio da Tabela 5.11, pode ser observado, por exemplo, que o trecho 1, que liga o Grajaú ao Centro, inclui a Praça Edmundo Rego, a Rua Júlio Furtado, a Rua Borda do Mato, a Rua Bambuí, a Rua Rosa e Silva, a Rua Campinas, a Rua Gastão Penalva e a Rua Paula Brito (fazendo esquina com Barão de Mesquita).

Como o itinerário da linha SC003 não possibilitou a coleta de informações que pudessem exprimir a variação do consumo de combustível para velocidades operacionais superiores a 40 km/h, foi selecionada uma outra rede que oferecesse condições de operação a maiores velocidades.

A rede selecionada para possibilitar ao motorista do microônibus imprimir velocidades operacionais elevadas foi realizado no Campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Seu percurso era circular com um total de 7.0 quilômetros de extensão.

A instalação do aparelho que mede o consumo de combustível foi em um microônibus que era utilizado para dar um esforço na linha SC 003 nos horários mais solicitados, no pico da manhã e no pico da tarde, e, por isso, a pesquisa foi realizada entre 07:40 e 09:45 e entre 15:30 e 20:30 h.

O horário da pesquisa no Campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro foi entre 11:45 e 12:45 h, aproveitando-se do tempo em que este veículo ficava na garagem da empresa, que era entre 10:30 às 14:20h.

Sabendo-se que existem sensíveis influências do estado emocional do motorista nos padrões de consumo de combustível (Santos, 1980), a pesquisa de campo foi realizada com o mesmo motorista em todas as viagens de teste para que, deste modo, possa ser evitado ou minimizado as variações do consumo de combustível em função de diferentes formas de conduzir o veículo.

O aquecimento do motor, considerado um procedimento importante para que os fabricantes atinjam uma temperatura ideal de operação, também foi considerado no planejamento da pesquisa, com a finalidade de evitar distorções nos dados coletados.

Tendo em vista que as condições do tráfego nos corredores pesquisados poderiam explicar algumas variações da função consumo de combustível, foram coletados dados com a finalidade de que estes pudessem exprimir, por exemplo, se o tráfego era mais ou menos congestionado em algum trecho, são eles:

- ♦ Consumo de combustível por trecho [l/km];
- ♦ Comprimento do trecho [km];
- ♦ Carregamento por trecho [pax];
- ♦ Tempo parado por trecho [min];
- ♦ Tempo gasto para percorrer cada trecho [min].

Além dessas variáveis, foram obtidos, de forma indireta, dados considerados importantes para a pesquisa, que são:

- ♦ Velocidade média – que foi obtida dividindo-se a extensão do trecho considerado pelo tempo gasto em percorrê-lo [km/h];

- ♦ Inverso da velocidade média – obtida ao dividir o tempo gasto para percorrer um trecho pelo comprimento do mesmo [h/km];
- ♦ Velocidade média ao quadrado – obtida ao elevar ao quadrado a velocidade média [(km/h)²].

O aparelho utilizado para medir o consumo de combustível do microônibus também foi o EDM 1401 fabricado pela *VDO Kienzle*.

6.DETERMINAÇÃO DOS VEÍCULOS

Os ensaios de consumo de combustível foram realizados em um automóvel e quatro ônibus, conforme especificação dos veículos a seguir.

6.1. Automóvel

O automóvel escolhido para teste foi um veículo marca Volkswagen, modelo Gol 1.0 16V a gasolina. A Figura 6.1 ilustra um veículo similar ao testado e suas características técnicas são relacionadas a seguir.

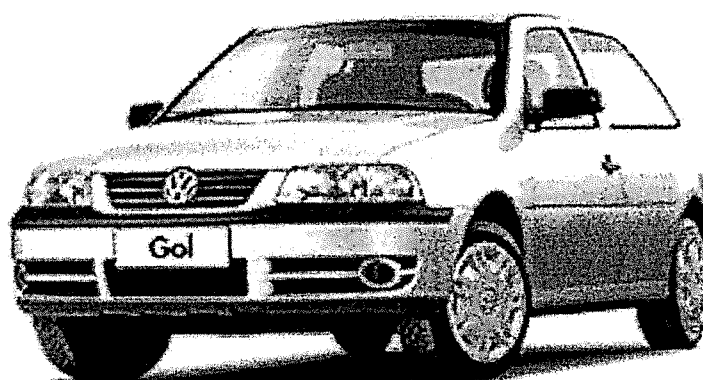


Figura 6.1. Ilustração de automóvel Gol 1.0 16V similar ao testado.

Cilindrada: 999 cm³, potência líquida máxima: 76,0 cv (70,76 hp) a 6.000 rpm, torque líquido máximo 9,7 kgfm a 4.500 rpm. Aceleração de 0 a 100 km/h em 13,7 s e velocidade máxima de 168 km/h. Transmissão manual de 5 marchas. Rodas 5J x 13 e pneus 175/70 R13. Freios dianteiros a disco ventilado e traseiros tambor. Direção mecânica. Comprimento 3.916 mm, distância entre eixos 2.468, largura 1.621 mm e altura de 1.415 mm. Capacidade máxima de 5 passageiros. Peso em ordem de marcha 937 kg, carga útil 395 kg e peso total de 1.332 kg. A relação peso potência deste veículo é portanto 18,68 kg/hp para uma capacidade volumétrica (cilindrada) de 999 cm³.

A escolha deste veículo se deve ao fato de que nos últimos 3 anos (2000, 2001 e 2002) mais de 65% dos automóveis comercializados no país foram veículos de 1.000 cm³, como pode ser visto na Tabela 6.1. Este percentual teve um crescimento expressivo na década de 90, saindo de 4,3% em 1990 e atingindo um patamar superior à 65% em 2000. (ANFAVEA, 2003). Com isso, é de

se esperar que este tipo de veículo seja dominante no mercado nos próximos anos, tornando a escolha significativa.

Tabela 6.1. Evolução do percentual de automóveis de 1.000 cm³ comercializados no Brasil.
Total / Total

ANO YEAR	AUTOMÓVEIS DE 1000 cc CARS WITH 1000 cc	TOTAL DE AUTOMÓVEIS ALL CARS	1000cc - PARTICIPAÇÃO EM % 1000 cc - SHARE %
1990	23013	532.906	4,3
1991	67.299	597.892	11,3
1992	92.959	596.594	15,6
1993	243.511	903.828	26,9
1994	450.925	1.127.673	40,0
1995	602.098	1.407.073	42,8
1996	703.118	1.405.545	50,0
1997	880.119	1.569.727	56,1
1998	748.474	1.211.885	61,8
1999	625.445	1.011.847	61,8
2000	773.664	1.176.774	66,1
2001	900.369	1.295.090	71,1
2002	820.135	1.229.550	66,7

Fonte: ANFAVEA, 2003.

Para o automóvel tipo testado, espera-se um consumo entre 11 km/l e 13 km/l (0,09 l/km e 0,08 l/km) para uso urbano e 16 km/l (0,06 l/km) na estrada, segundo dados de manual (VW, 2000).

6.2. Ônibus

Foram feitos testes em três tipos de ônibus: Ônibus Urbano Convencional (OUC), Ônibus Padron Convencional (Padron C), Ônibus Padron Híbrido (Padron H) e Microônibus.

6.2.1. Ônibus Urbano Convencional (OUC)

Considerando o DECRETO Nº. 12.713 DE 01 DE MARÇO DE 1994, que ESTABELECE PADRÕES TÉCNICOS A SEREM OBSERVADOS PARA PROVAÇÃO DOS VEÍCULOS UTILIZADOS NO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASSAGEIROS POR ÔNIBUS NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO, considera em seu Art. 3º que, ônibus SIMPLES (aqueles constituídos de uma só unidade, movido por motor próprio e solidário) são empregados nas linhas regulares do Município do Rio de Janeiro e classificam-se, quanto ao nível de serviço e à característica operacional da linha, em:

I – ÔNIBUS URBANO – aquele utilizado nas linhas em que é permitido o transporte de passageiros em pé. Este veículo se subdivide em dois tipos: TIPO I E TIPO II, que devem ser empregados segundo o seu nível de serviço, considerando-se as características operacionais das linhas onde são utilizados.

I.1 – Para operar nas regiões periféricas ou como alimentador e/ou distribuidor do sistema de Transporte será usado preferencialmente o veículo do TIPO I.

I.2 – Em vias exclusivas, corredores ou áreas exclusivas serão obrigatoriamente usados veículos TIPO II.

O veículo utilizado para a realização dos testes de consumo de combustível, portanto, é um ônibus TIPO II com as principais características apresentadas na Tabela 6.2. A Figura 6.2 ilustra o veículo utilizado para teste. O veículo foi obtido junto a empresa operadora Saens Peña, sendo seu número de ordem para controle de fiscalização e de garagem era 71.546.

Tabela 6.2. Características do ônibus convencional.

Chassi	Modelo	OF 1721 / 59	Unidade
	Ano	2001	-
Peso	Eixo Dianteiro	6.500	Kg
	Eixo Traseiro	10.500	Kg
	PBT	16.000 ⁽¹⁾	Kg
Carroceria	Marca	Ciferal	-
	Modelo	Vialle	-
	Tara	9.690	Kg
Lotação	Sentado	46	Pax
	Em Pé	32	Pax
Dimensões máximas ⁽²⁾	Comprimento	13,20	M
	Largura	2,60	M
	Altura	3,50	M

Notas: (1) Peso bruto total autorizado; (2) O veículo testado apresentava comprimento de 12 m.



Figura 1. Exemplo de ônibus convencional utilizado nos testes.

Trata-se de um ônibus com motor dianteiro marca Mercedes-Benz, modelo OM-366 LA, com 6 cilindros verticais em linha, com turbocooler (turboalimentado com pós-resfriador do ar de admissão). Sua potência máxima é de 211 cv à 2.600 rpm, torque 67 mkgf a 1.400 rpm com cilindrada total de 5.958 cm³. O sistema de injeção é da marca Bosch, tipo mecânico em linha, sendo equipado com direção hidráulica. A caixa de marchas modelo MB G60-6 / 9,20 tem acionamento por meio de alavanca com 6 marchas sincronizadas e relação de transmissão: $i=9,20/5,23/3,15/2,03/1,37/1,00$ marcha a ré 8,65 e relação do eixo traseiro (diferencial) $i=4,75$ (38:8). As rodas são 7.50x22,5 e os pneus são radiais sem câmara 275/80 R 22,5 PR 16.

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, cerca de 89% dos ônibus urbanos são do tipo ônibus urbano convencional (OUC) com características muito próximas do veículo testado (ANTP, 1998; 2000), podendo-se considerar que se trata de um veículo representativo da frota.

6.2.2. Ônibus Padron Convencional (Padron C)

A denominação Padron atende à especificação, estabelecida na década de 80 pelo Ministério dos Transportes, que melhor se adapta ao transporte urbano de passageiros, com arranjo interno racional que facilita o embarque, desembarque e a acomodação dos passageiros, contando com duas ou três portas duplas e relação peso/potência otimizada para o tráfego urbano (GEIPOT/EBTU, 1983; FINEP, 1983).

Cerca de 16% da frota de ônibus urbanos das 27 capitais brasileiras e 3,5% da frota da Região Metropolitana do Rio de Janeiro já é composta por veículos Padron. Esta especificação também se aplica à operação de parte do restante da frota, composta hoje por veículos denominados de ônibus convencionais (ANTP, 2000). Em função das dimensões, da capacidade e do desempenho dos ônibus Padron, se comparados com os ônibus convencionais, este veículo também se adequa à operação em via segregada, onde se busca um melhor desempenho operacional do sistema de transporte por ônibus por meio da priorização de seu tráfego, promovendo a separação física longitudinal entre a via de circulação do ônibus e o tráfego comum. Esta forma de operação tem sido aplicada nas cidades brasileiras (EIA/OECD, 2002; ANTP, 2000), onde a exiguidade de recursos financeiros para investimento em sistemas de transporte de massa levou ao uso do ônibus em corredores de transporte. Os ônibus Padron são capazes de atender a estas necessidades sem perda de flexibilidade, diferente do que ocorre com os modelos articulados ou bi-articulados.

As considerações anteriores justificam a escolha da especificação de ônibus Padron como objeto de estudo adicional ao dos ônibus convencionais e capazes de atender à demanda de transporte rodoviário urbano em corredores de transporte nas cidades brasileiras, com possibilidade de aplicação futura no Rio de Janeiro. A Tabela 6.3 apresenta uma síntese das especificações do Ônibus Padron Convencional (Padron C) testado.

Tabela 6.3. Características do Ônibus Padron C testado.

Carroceria	Motor	Dimensões Nominais				Capacidade		Desempenho	
		Comp. [m]	L [m]	H [m]	Peso Nominal Vazio [kg]	Assentos	Em pé	V_{max} [km/h]	Pot_{max} [HP]
Padron 3 portas	Diesel 6 cilindros / horizontal e central	12,00	2,60	3,40	12.000	39	62	60	210

A seguir apresenta-se uma descrição mais detalhada do ônibus Padron C testado. Marca: Volvo; Modelo: Volvo B 58; Ano fabricação: 1990; Ano modelo: 1990; Km (em 17/09/2002, data do testes): 842423,8; Última retífica do motor: 200.000 km; Tipo do motor: Volvo TDH 101 GB – 6 cilindros / horizontal; Tipo de transmissão: ZF Ecomat 4 HP 500; Diferencial: Volvo tipo EV 805; Rodagem: pneus radiais medida 1100 / 22. A Figura 6.3 apresenta uma ilustração do ônibus Padron C testado.



Figura 6.3. Ônibus Padron C.

6.2.3. Ônibus Padron Híbrido

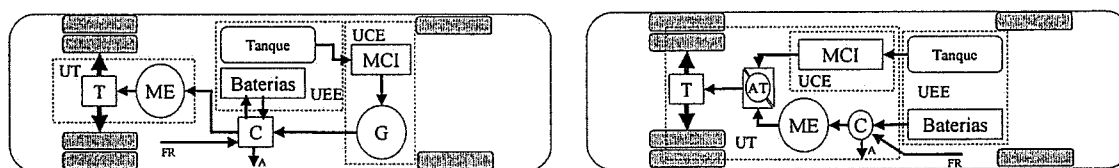
Em função da grande demanda por transporte rodoviário urbano de passageiros e da necessidade de reduzir consumo de óleo diesel e emissões de poluentes atmosféricos, o Brasil apresenta um grande potencial para o emprego de ônibus híbridos, já estando em operação os modelos apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4. Especificação dos ônibus brasileiros com propulsão híbrida.

Denominação	Configuração do Sistema de Propulsão	Dimensões Nominais				Capacidade Nominal		Desempenho		
		C [m]	L [m]	H [m]	Peso Vazio [kg]	Assentos	Em pé	V_{max} [km/h]	Pot _n [kW]	Pot _{MG} [hp]
Articulado	Série	18,15	2,60	3,40	18.000	57	113	60	360	150
Padron	Série	12,00	2,60	3,40	12.000	36	64	60	240	80
Microônibus	Série	8,00	2,20	2,70	7.000	25	-	80	150	50

Legenda – C: Comprimento; L: Largura; H: Altura externa; Vmax: Velocidade máxima, Pot_n: Potência nominal do motor elétrico; Pot_{MG}: Potência nominal do grupo motor-gerador. Fonte: ELETTRA, 2002.

O termo propulsão híbrida aplica-se aos veículos que utilizam mais de uma forma propulsão para seu movimento. Seus componentes podem apresentar duas configurações básicas, em série ou em paralelo. Na configuração em série a tração do veículo é realizada por um único componente do sistema de propulsão, usualmente um motor elétrico. No caso da configuração em paralelo, a tração é realizada alternativamente por dois componentes do sistema de propulsão, usualmente um motor elétrico ou um motor de combustão interna. A Figura 6.4 ilustra a forma mais usual destas configurações. Em ambos os casos o sistema é composto de uma unidade de conversão de energia (UCE), unidades de estocagem de energia (UEE) e unidades de tração (UT) (SAE, 1996; O’Keefe & Vertin, 2002).



Configuração em Série

Configuração em paralelo

Legenda - T: Mecanismo de tração; AT: Acoplador de torque; ME: Motor elétrico; C: Controlador; MCI: Motor de combustão interna; G: Gerador; UT: Unidade de tração; UEE: Unidade de estocagem de energia; UCE: Unidade de conversão de energia; FR: Freio regenerativo; A: Carga dos acessórios

Figura 6.4: Configurações do sistema de propulsão híbrida.

A unidade de conversão de energia (UCE) é responsável por transformar a energia química, estocada na forma de combustível, em energia elétrica ou trabalho que será empregado na unidade de tração. Para o caso da configuração em paralelo, a unidade de conversão de energia é parte da unidade de tração (UT). Para o caso da configuração em série, a opção mais usual de unidade de conversão de energia é o conjunto motor-gerador, composto de motor alternativo de combustão interna acoplado a gerador elétrico.

As unidades de estocagem de energia (UEE) são de dois tipos: armazenagem de combustível para a unidade de conversão de energia e armazenagem de energia para utilização direta pelas unidades de tração. O primeiro tipo é composto de tanque de combustível e o segundo tipo pode ser na forma de baterias e ultracapacitores, para o armazenamento de energia elétrica, ou volantes rotativos (flywheels) para o armazenamento de energia cinética. No caso da configuração em série, as unidades de estocagem de energia para utilização direta servem para suprir picos de demanda de energia, permitindo que a unidade de conversão de energia opere em regime constante, racionalizando seu dimensionamento. Para ambas as configurações é possível armazenar parte da energia gerada na desaceleração do veículo por meio de um sistema denominado de freio regenerativo, obtendo-se maior eficiência energética na conversão de energia para a tração.

No caso da configuração em série, as unidades de tração são invariavelmente compostas de um ou mais motores elétricos, que podem ser de diferentes tipos. O motor elétrico, conforme o caso, também deve ser reversível e atuar como gerador para ser utilizado como freio regenerativo. Já para a configuração em paralelo, a unidade de tração é mista, composta de um motor de combustão interna e de um ou mais motores elétricos, que atuam alternadamente.

Nos dois tipos de configuração é necessário o uso de um controlador (C). Nas configurações em série, o controlador é um componente eletrônico com a principal finalidade de gerenciar a demanda de potência do motor elétrico, controlando a parcela fornecida pelo grupo motor-gerador e, nos picos de demanda, pelas baterias, mantendo o carregamento destas e permitindo que o grupo motor-gerador funcione em regime constante e a atuação do freio regenerativo. Para as configurações em paralelo, o controlador gerencia a demanda do motor elétrico e de outros componentes do veículo, sendo necessário o uso de um acoplador de torque para permitir o acoplamento das duas unidades de tração alternadamente.

É importante destacar que a tecnologia de propulsão híbrida representa um estágio intermediário para o alcance de alternativas tecnológicas mais modernas, tanto em termos de eficiência

energética como em termos de emissões de poluentes atmosféricos, como é o caso de veículos com propulsão exclusivamente elétrica ou o uso de células a combustível empregando hidrogênio como vetor energético.

Das opções apresentadas na Tabela 6.4, a denominação Padron é aquela que pode atender à maior parte da demanda por transporte nas diversas cidades brasileiras, sendo o mais indicado para estudo neste trabalho. Este veículo, doravante denominado Padron H, apresenta sistema de propulsão híbrida com configuração em série. A Figura 6.5 ilustra este veículo e a Tabela 6.5 apresenta informações adicionais que auxiliam na caracterização do veículo em estudo.

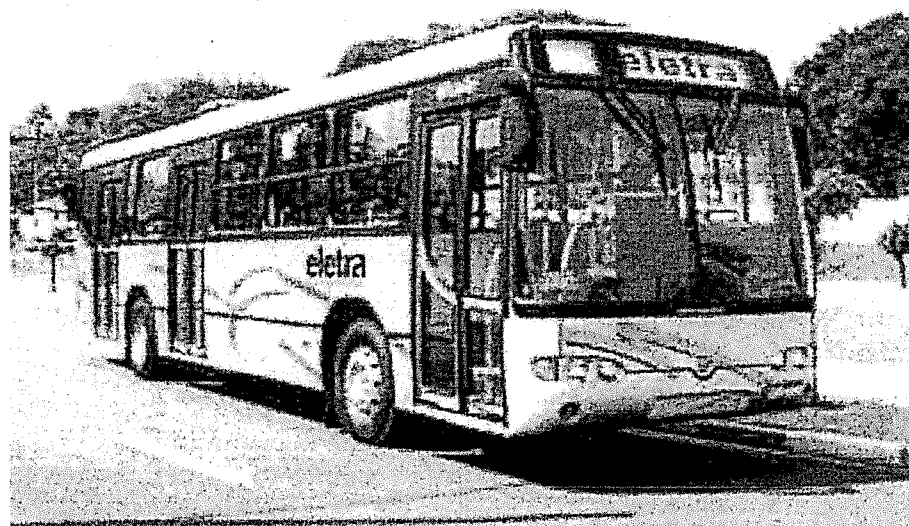


Figura 6.5. Ilustração do ônibus Padron H estudado.

Tabela 6.5.Dados adicionais do ônibus Padron H estudado.

Componentes Básicos	Elementos	Características	Tipo/Valor	Unidade
Unidade de Conversão de Energia	Motor de Combustão Interna	Combustível	Óleo Diesel	-
		Numero de Cilindros	4	-
		Cilindrada	2,8	l
		Pot _{max}	135	cv
		Torque _{max}	38	m.kgf
	Gerador	Faixa de trabalho	75	kVA/1800 rpm
			60	Hz
Unidade de Estocagem de Energia	Grupo	Pot _{nominal}	80	hp
	Tanque de Combustível	Capacidade	300	l
		Quantidade	4	-
		Tipo	Chumbo-Ácidas	-
Unidade Tração	Motor Elétrico	Pot _{nominal}	120	kW
		Pot _{max}	240	kW
		Rotação	1800/3600	rpm

Unidade de Controle	Sistema de Controle Eletrônico	Chopper/IGTB	-
---------------------	--------------------------------	--------------	---

6.2.4. Microônibus (MO)

No Brasil identifica-se uma tendência ao maior uso de microônibus pelas operadoras do transporte coletivo urbano de passageiros. Entre 1999 e 2002, a frota de microônibus mais que triplicou, passando de 1.195 para 3.724 veículos (NTU, 2003). O uso do microônibus tem sido uma alternativa empregada pelos operadores de transporte como forma de competir com o transporte alternativo, isto é particularmente observado nas capitais brasileiras onde esta atividade foi regulamentada, como Belo Horizonte, Goiânia, São Paulo, Cuiabá, Palmas, Porto Alegre e Aracaju. Esta realidade também se observa na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, onde algumas empresas operadoras do transporte coletivo urbano já adotaram o microônibus em algumas linhas.

Atualmente, o microônibus também tem sido utilizado por alguns operadores do transporte urbano de passageiros não regulamentado, como é o caso de Curitiba, São Paulo e Vitória (NTU, 2002).

Diante deste quadro, considerou-se interessante incluir as pesquisas para microônibus realizadas por Costa (2003) com a finalidade de determinar as curvas de consumo de combustível em função da velocidade média de tráfego. Esta pesquisa foi orientada por parte dos componentes do presente estudo e aplicou o conhecimento desenvolvido nos testes com os veículos descritos anteriormente.

A seguir apresentam-se as características do microônibus disponível para a realização dos testes de campo e uma ilustração do tipo de veículo testado (Figura 6.6). Este veículo foi obtido junto à operadora Saens Peña.

- ♦ Marca: Mercedes-Benz (chassi) / Marcopolo (carroceria)
- ♦ Modelo: LO 914/42.5 (chassi) / Sênior Turismo GV (carroceria)
- ♦ Ano de fabricação: 2002 / Ano modelo: 2002
- ♦ Lotação nominal: 26
- ♦ Tipo do motor: OM 904- LA
- ♦ Transmissão mecânica modelo ZF S 5- 42/5,72.

O veículo era equipado com ar condicionado, condição usualmente encontrada neste tipo de veículo por questão de conforto. Uma vez disponibilizado o veículo, foi feita uma avaliação técnica e mecânica do microônibus com vistas a evitar distorções nos dados coletados em função de uma ou outra peculiaridade do veículo como por exemplo, uma má regulação do motor.

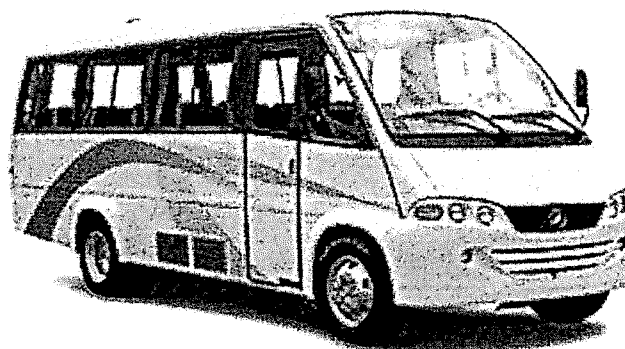


Figura 6.6. Microônibus similar ao testado.

7.RESULTADOS OBTIDOS

Tendo em vista os argumentos apresentados na readequação da proposta, os principais resultados obtidos dizem respeito às curvas de consumo de combustível em função da velocidade média para o automóvel tipo, o ônibus urbano convencional (OUC), o ônibus Padron convencional (Padron C), o ônibus Padron híbrido (Padron H) e o microônibus (MO).

7.1. *Automóvel tipo*

Todos os dados levantados na pesquisa de campo para o automóvel tipo compõem um Banco de Dados, desenvolvido em Microsoft Access onde é possível obter para cada dia de pesquisa e por trecho as variáveis tempo de percurso, consumo, número de paradas, tempo parado e velocidade média. O Banco de Dados já pode ser considerado como um resultado importante do levantamento de campo, tendo em vista que a partir dele é possível obter uma série de informações sobre como estas variáveis se comportam ao longo dos percursos.

De modo a caracterizar os resultados obtidos para o caso do automóvel tipo, inicialmente é possível apresentar os gráficos destas variáveis por percurso, para os horários de pico e entre pico, como pode ser visto no conjunto de Figuras 7.1 (A a E). Os valores representam valores médios para o conjunto de amostras analisado.

Para a velocidade média, o Percurso 2 apresenta os menores valores, seguido do Percurso 3. Os melhores resultados ocorre para o Percurso 4 e Percurso 1, nesta ordem. As diferenças mais marcantes entre os valores de velocidade média para o pico e entre pico ocorrem para o Percurso 4. Surpreendentemente o valor da velocidade média para o pico manhã é maior que para o entre pico para o caso do Percurso 1, o que pode significar um reflexo da pequena variação do fluxo de tráfego ao longo do dia, com congestionamentos constantes na Auto-Estrada Lagoa-Barra exclusivamente no segmento que se realiza no Túnel do Joá.

Observando as velocidades médias obtidas nos Percursos 1 e 2 é possível verificar a diferença entre escolher um caminho pela orla marítima ou pelo interior, em termos de tempo de percurso. O Percurso 2 apresenta velocidades médias em torno de 50% menores nos picos e cerca de 40% nos entre picos.

No que se refere à Figura 7.1.B, verifica-se que o consumo em l/km, apresenta maiores valores para as menores velocidades médias, com comportamento coerente com o esperado.

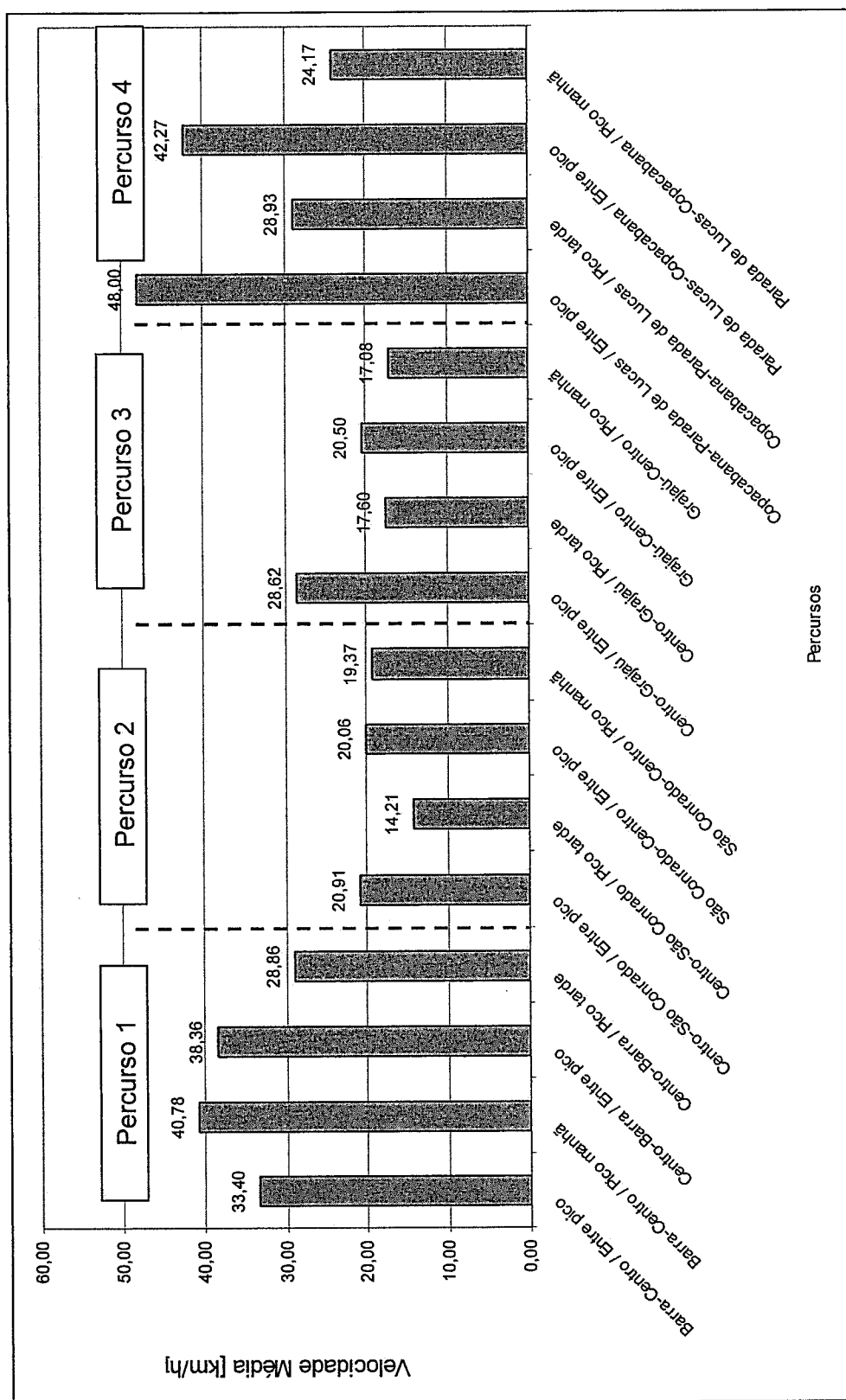


Figura 7.1.A. Perfil das velocidades médias por percurso.

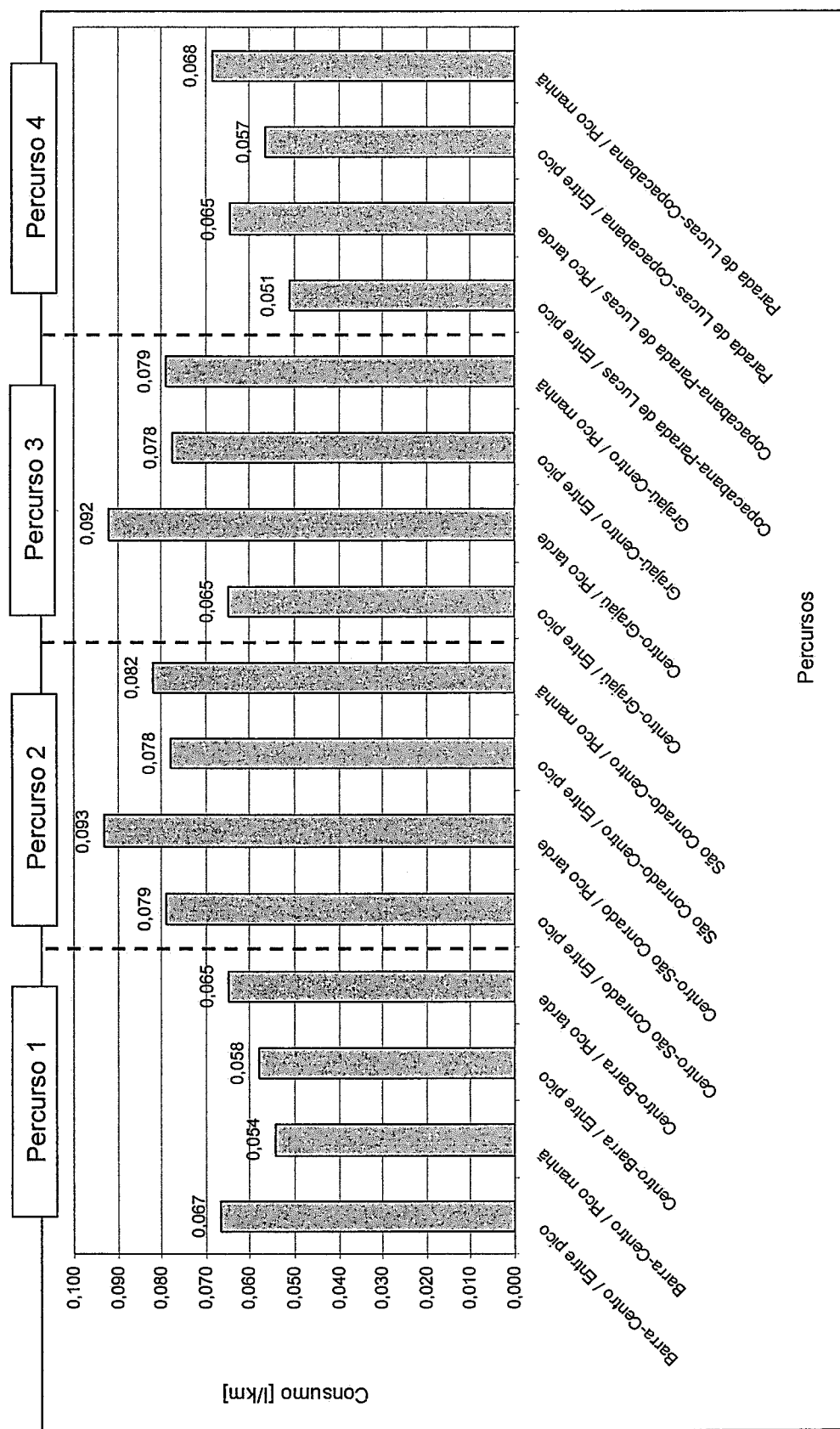


Figura 7.1.B.Perfil do consumo médio por percurso.

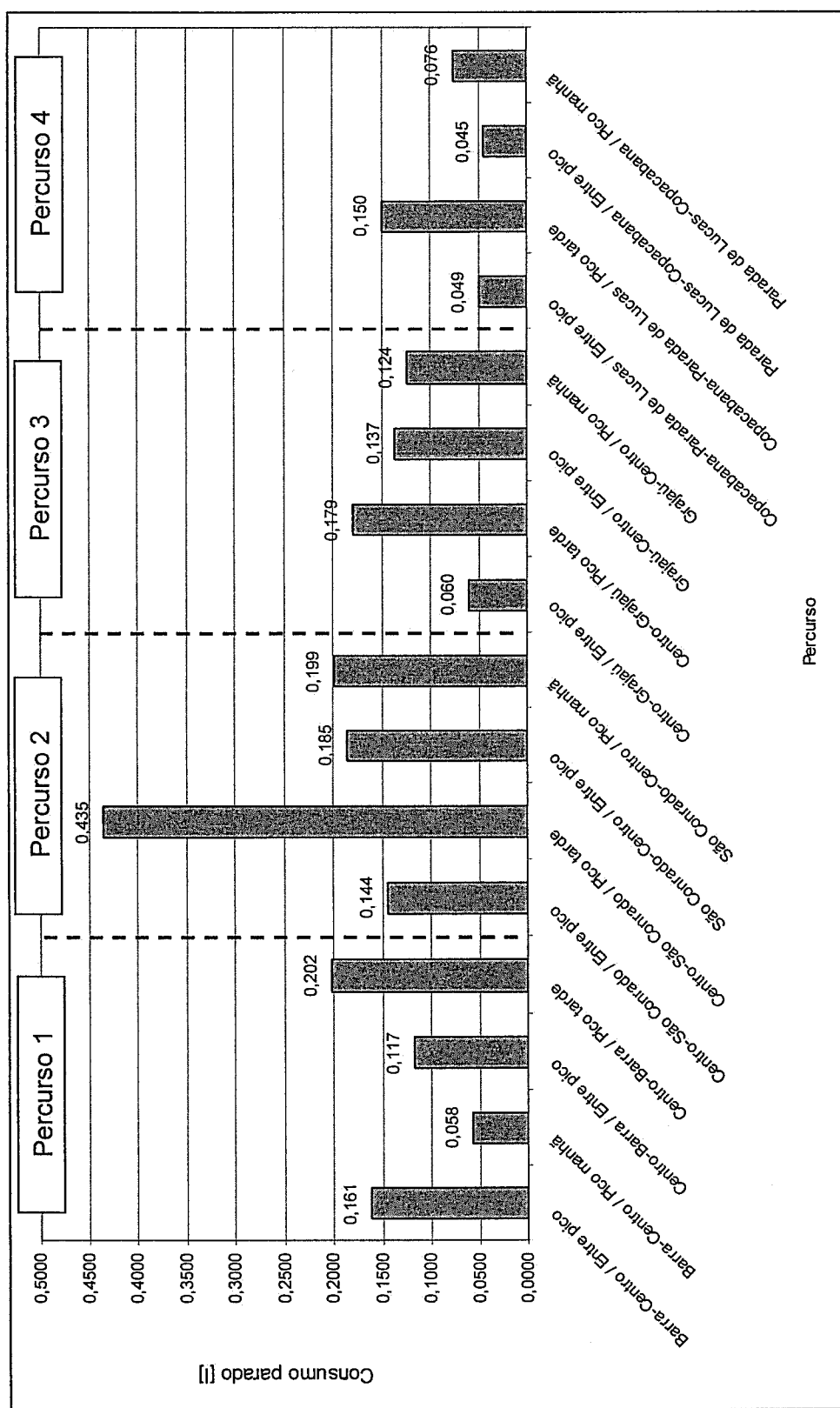


Figura 7.1.C. Consumo com o veículo parado.

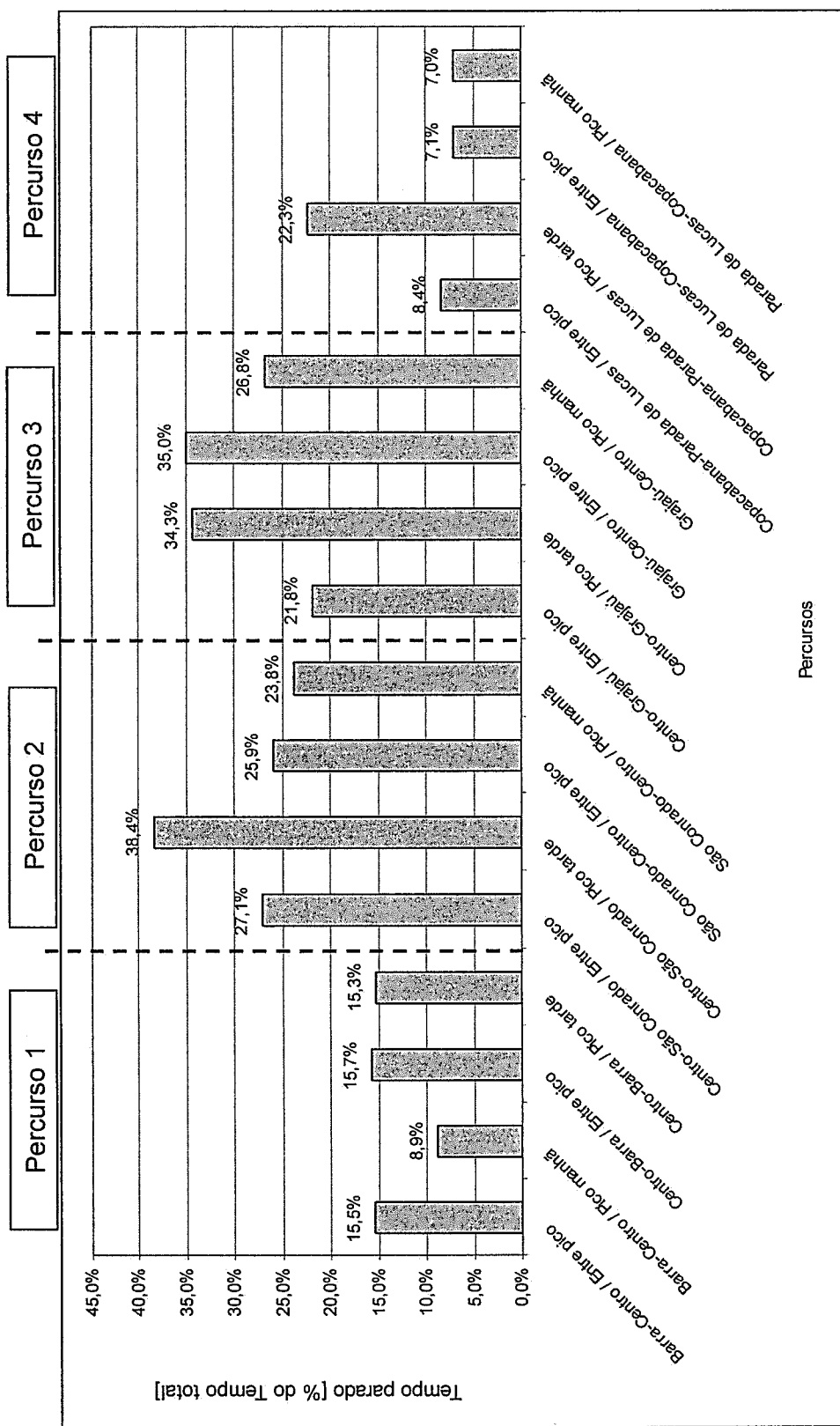


Figura 7.1.D. Tempo parado como percentual do Tempo total.

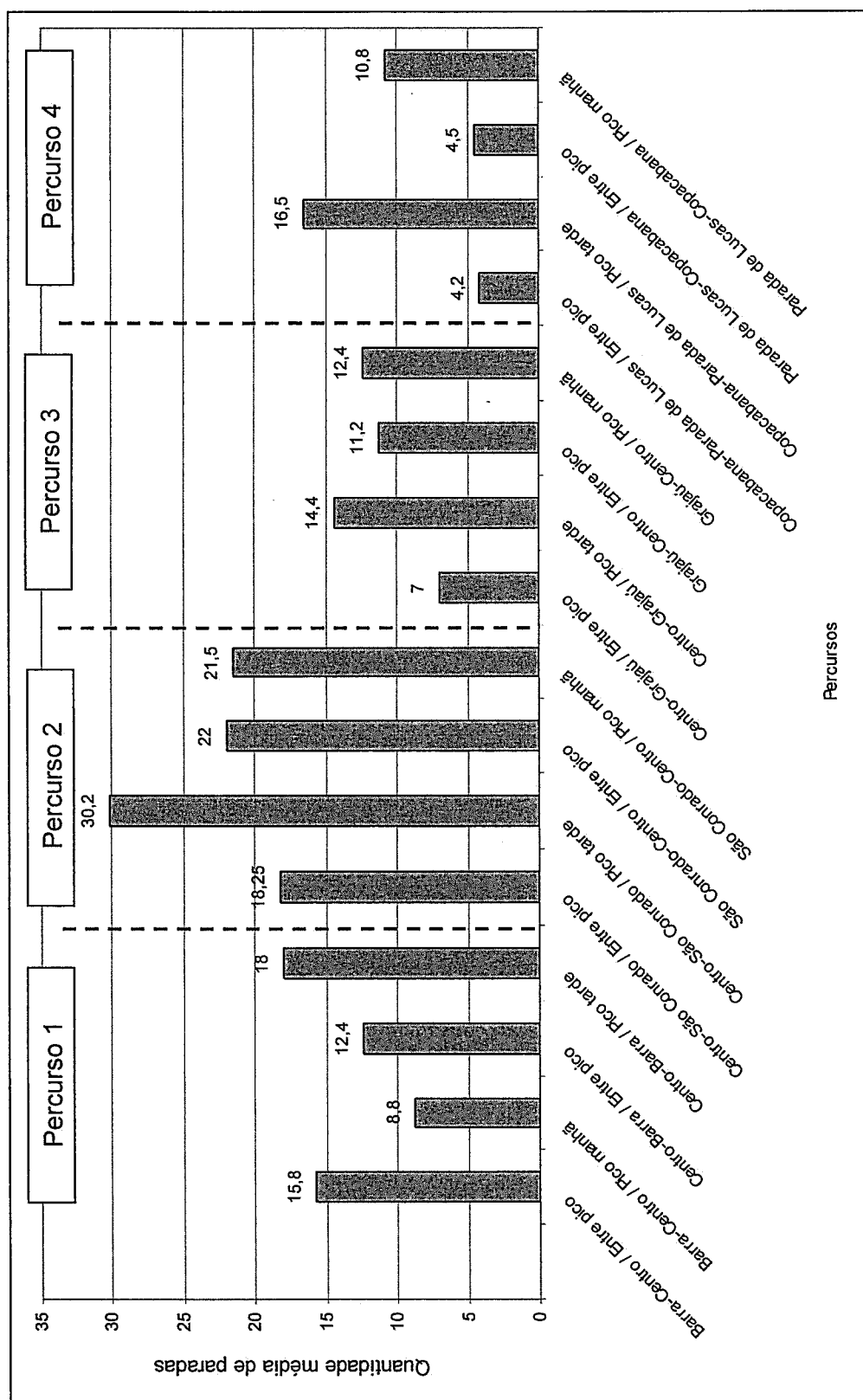


Figura 7.1.E. Número médio de paradas por percurso.

Os valores mínimo (0,051 l/km) e máximo (0,093 l/km) apresentam-se aproximadamente dentro do intervalo de consumo preestabelecido pelo fabricante.

Destaca-se o consumo de combustível com o veículo parado observado no Percurso 2 – Pico da tarde, onde 0,435 litros de gasolina foram consumidos em retenção de tráfego. Este volume seria suficiente para percorrer cerca de 7 km considerando o melhor consumo observado (0,051 l/km).

Para os Percursos 2 e 3 os tempos parados são sempre maiores que 20%, caracterizando que em média 1/5 do tempo de viagem é gasto sem deslocamento. Na pior das hipóteses este valor foi quase de 40%. Para os Percursos 1 e 4, os percentuais de tempo parado foram expressivamente menores, em torno de 15% para o Percurso 1 e abaixo de 10% para 3 das 4 situações o Percurso 4.

A quantidade de paradas (Figura 7.1.E) aparentemente não apresenta uma relação direta com o percentual de tempo parado sobre o tempo total, o que implica numa distribuição heterogênia dos tempos por parada. Por exemplo, no Percurso 1, que apresenta percentuais de tempo parado significativamente menores que o Percurso 3, a frequência de paradas é ligeiramente maior.

Para cada percurso estudado o Banco de Dados possibilita a obtenção de informações por trecho de cada uma das variáveis já consideradas no conjunto de Figuras 7.1. Como exemplo, as Figuras 7.2. (A a D) apresentam o perfil do consumo médio e velocidade média para os trechos do Percurso 1. O mesmo pode ser obtido para os demais percursos.

Como pode ser visto, ainda assim existe uma relação entre o consumo médio e a velocidade média, sendo eles aproximadamente inversamente

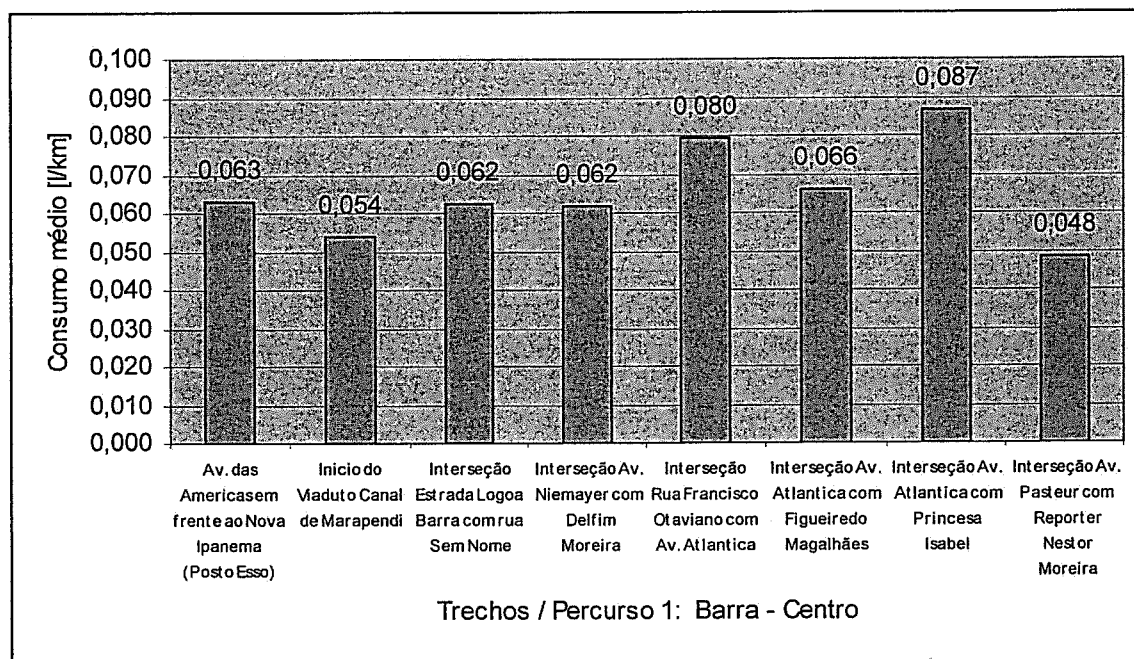


Figura 7.2.A. Perfil de consumo médio – trechos do Percurso 1: Barra – Centro.

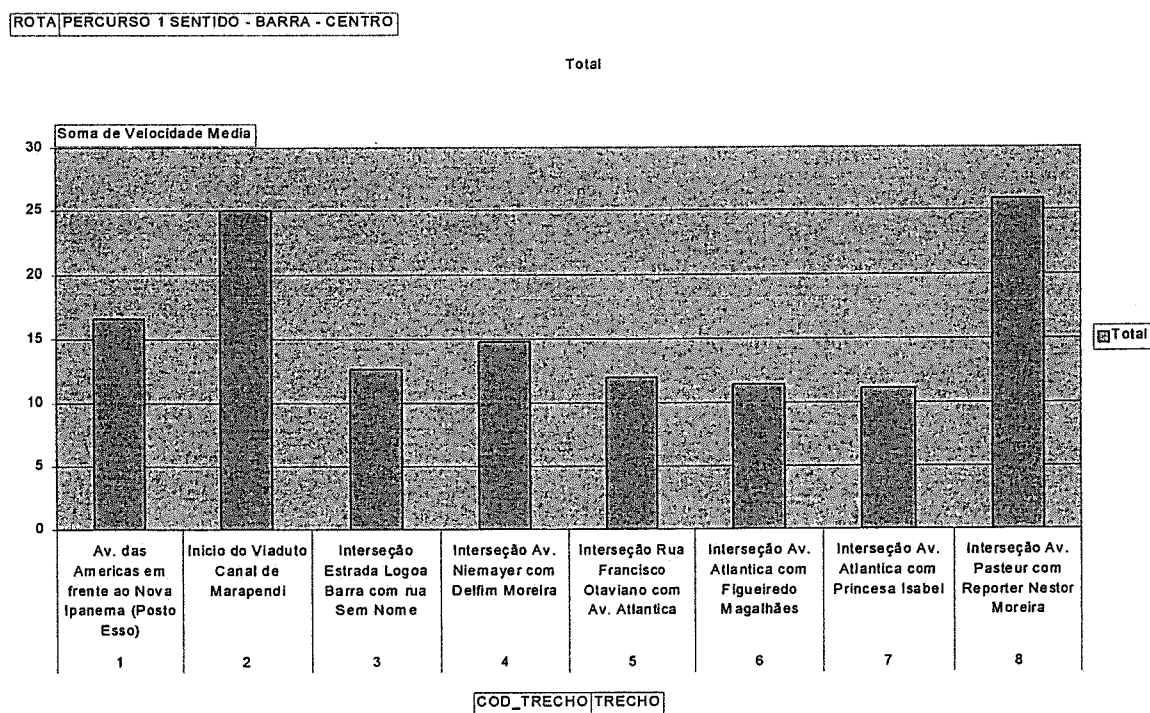


Figura 7.2.B. Perfil de velocidade média – trechos do Percurso 1: Barra – Centro.

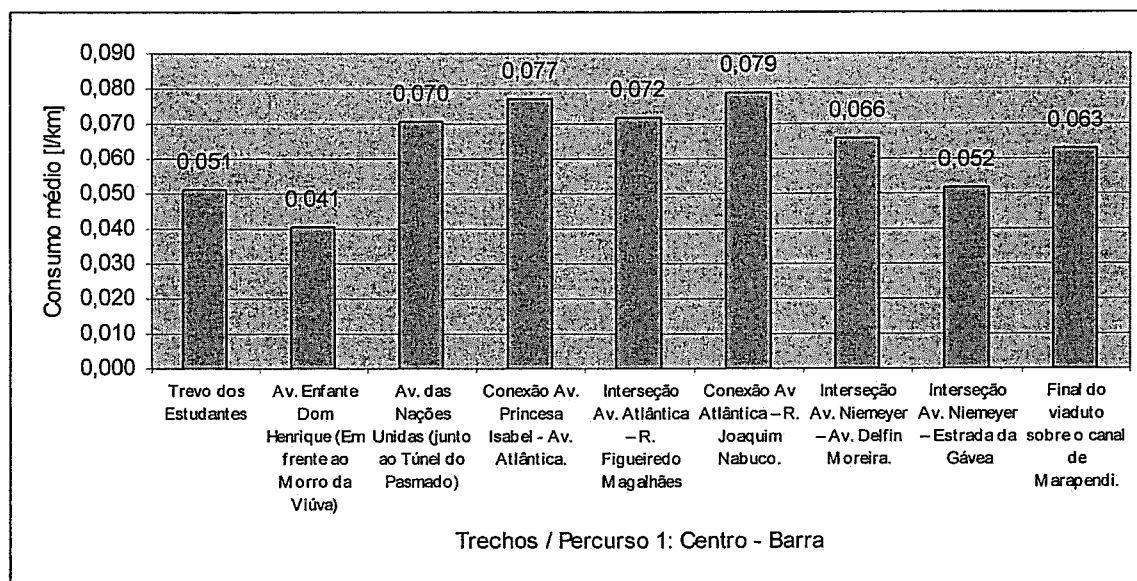


Figura 7.2.C. Perfil de consumo médio – trechos do Percurso 1: Centro – Barra.

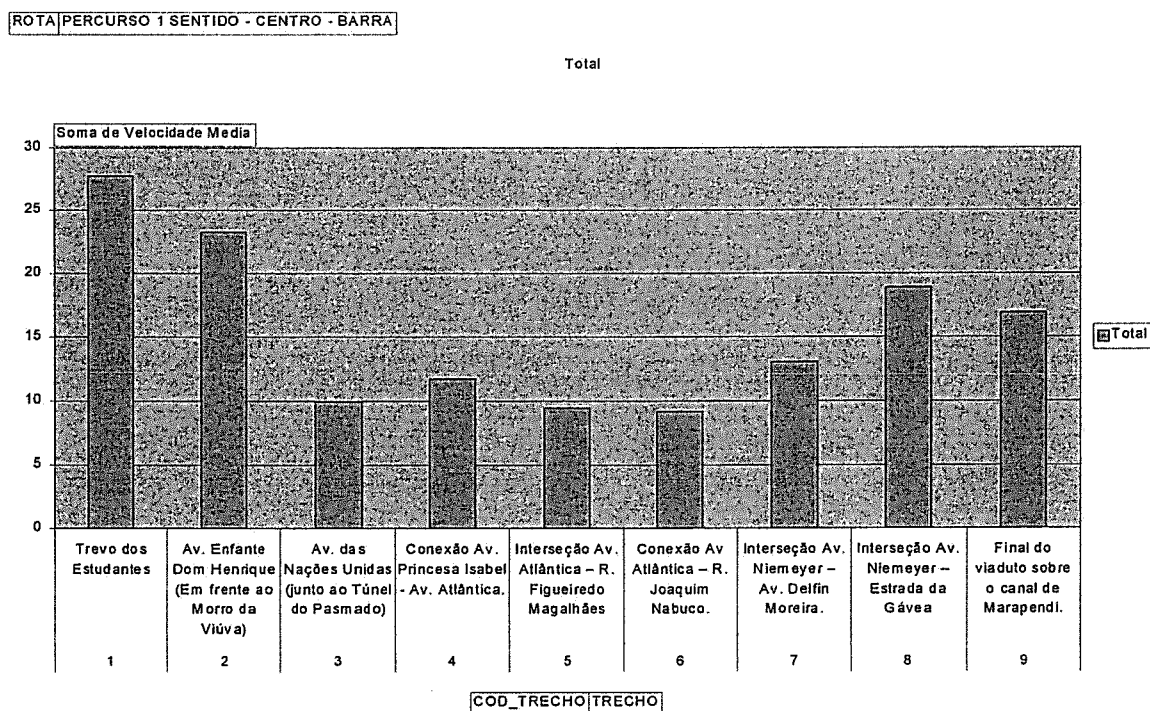


Figura 7.2.D. Perfil de velocidade média – trechos do Percurso 1: Centro – Barra.

A análise dos perfis de velocidade média, consumo médio, percentual de tempo parado e número de paradas por percurso e por trecho ajudam a compreender a relação entre estas variáveis. Porém, o principal resultado que se procura é a função curva de consumo para o caso do automóvel tipo.

Como foi visto na literatura estudada, no caso do automóvel de passageiros, as principais variáveis que explicam o consumo de combustível são a velocidade média V_m e seu inverso ($1/V_m$). Também é comum que se tente o ajuste com o quadrado da velocidade média (V_m^2), principalmente para modelar a influência das altas velocidades. A partir destas considerações, tentou-se um primeiro ajuste por meio da ferramenta de ajuste de curvas do Microsoft Excel, sendo possível obter o resultado apresentado na Figura 7.3.

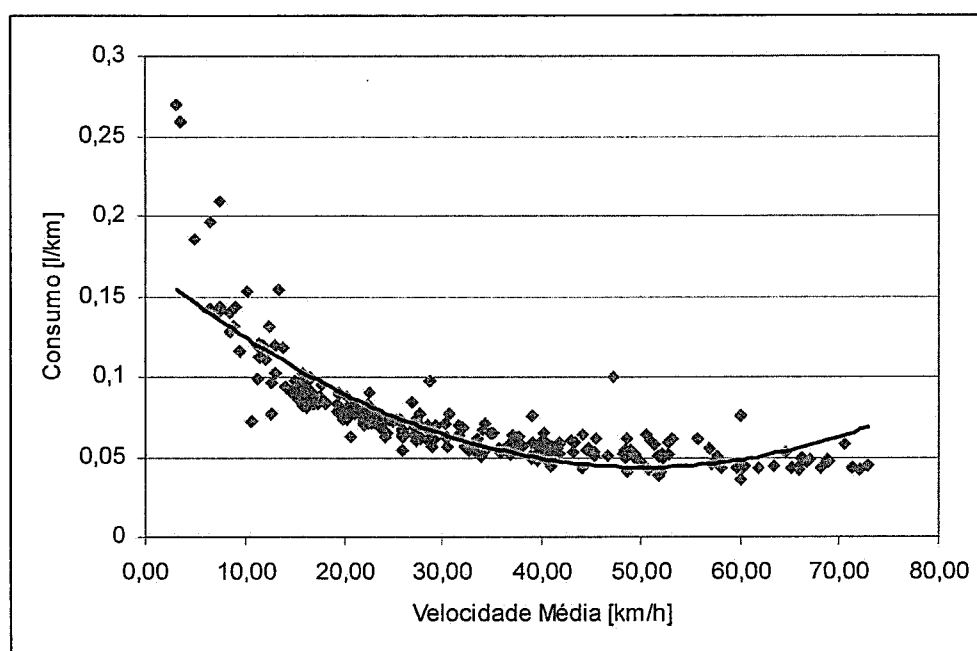


Figura 7.3. Resultado do ajuste de curva do Microsoft Excel.

O ajuste encontrado leva à equação 7.1. Apesar das limitações de análise do software, observa-se um coeficiente de determinação (R^2) maior que 0,7, indicando uma adequada explicação das variações de consumo por parte da velocidade média.

$$C = 0,00005V_m^2 - 0,005V_m + 0,1697 \quad R^2 = 0,7249 \quad (7.1)$$

Onde: C – consumo em l/km

V_m – velocidade média em km/h

$0 \leq R^2 \leq 1$ - no caso 72,49% das variações de C são explicadas pelas variáveis escolhidas.

É possível realizar um ajuste de curvas mais completo por meio da aplicação do software Statistica, utilizando o módulo de regressão múltipla (*multiple regression*). Neste caso o valor é

acompanhado não apenas do coeficiente de determinação, mas também dos intervalos de confiança para cada um dos parâmetros e do respectivo nível de significância. A curva encontrada neste caso passa a ser a equação 7.2.

$$C = 0,06822 + \frac{0,673469}{V_m} - 0,00136V_m + 0,0000158V_m^2 \quad (7.2)$$

σ (0,008727 (0,04287) (0,000458) (0,00000647)
 t (0,8175) (-2,97) (15,926) (2,44627)
 ns ($2,21 \cdot 10^{-3}$) (0,003308) ($1,7 \cdot 10^{-38}$) (0,015210)
 $R^2 = 0,893277$
 $n = 244$
 $r = 0,9451334$

Como pode ser visto, o nível de significância não chega nem perto do valor de 0,025, considerado como aceitável neste tipo de teste. Além disso, o coeficiente de determinação melhorou com a introdução da variável inverso da velocidade média, passando para 0,893277. Deste modo, pode-se considerar a equação 7.2 como a representativa da curva de consumo para o veículo tipo. A Figura 7.4 apresenta a curva sobreposta aos pontos.

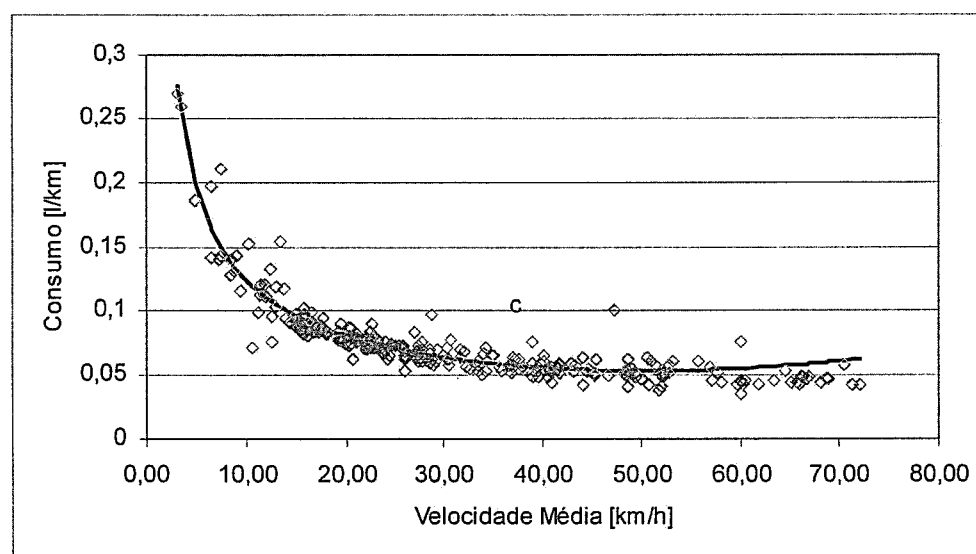


Figura 7.4. Curva de consumo do veículo tipo – ajuste final.

Da Figura 7.4 é fácil verificar que a inclusão do termo $1/V_m$ ajuda a modelar o comportamento do consumo para velocidades médias abaixo de 10 km/h, o que não era possível com a curva da equação 7.1. Além disso, melhores ajustes também são obtidos para velocidades médias maiores que 50 km/h.

Finalmente, é possível comparar os resultados obtidos com o automóvel tipo e as experiências anteriores, de Santos (1980) e GEIPOT (1986). A Figura 7.5 apresenta esta comparação.

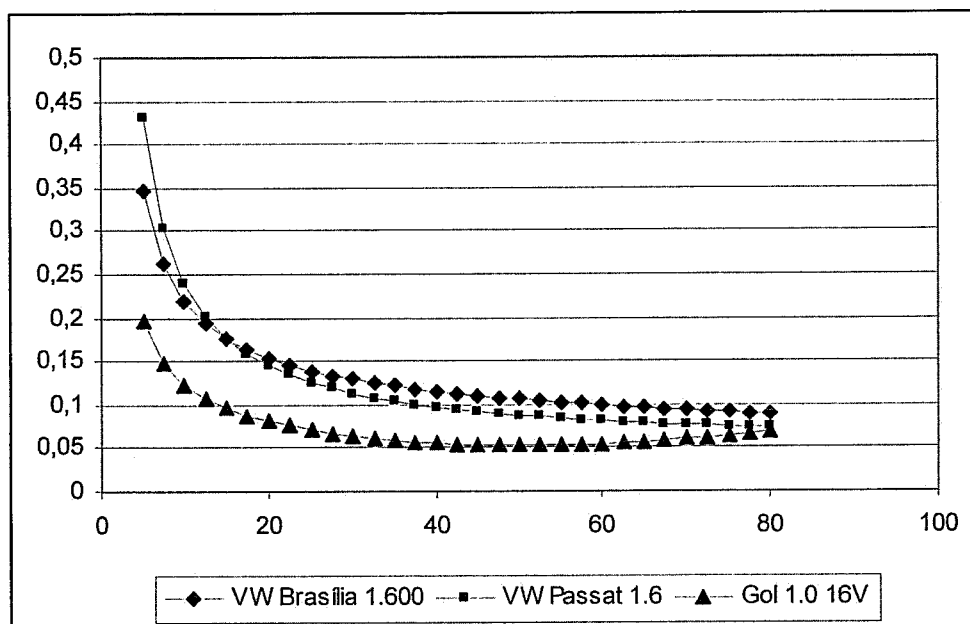


Figura 7.5.Comparativo das curvas de consumo dos automóveis.

Ao comparar é necessário que se considere evolução da relação peso/potência e a menor capacidade volumétrica do automóvel Gol 1.0 16V. Mesmo assim, é fácil notar que o Gol 1.0 16V apresenta menores consumos para todas as velocidades médias, porém, esta diferença é menos expressiva a medida que a velocidade média aumenta.

7.2.Ônibus urbano convencional (OUC)

Para o caso do OUC foi criada uma planilha em Microsoft Excel onde se gerou-se uma pasta para cada dia de levantamento de consumo por horário. Este arquivo, denominado *Ônibus_urbano_convencional.xls* faz parte dos anexos eletrônicos deste trabalho.

A planilha com dados de consumo é acompanhada por duas outras planilhas: *Embarque_Desembarque.xls* e *Tempo_parado_fim.xls*, com dados de embarque e desembarque de passageiros e de tempo parado por motivo (ponto, engarrafamento, sinal etc). Diversas informações podem ser obtidas a partir deste conjunto de planilhas, as Tabelas 7.1 e 7.2 sintetizam algumas destas informações.

Tabela 7.1.Síntese das informações obtidas a partir da pesquisa com o OUC.

PONTO	REFERÊNCIA	Valores médios por trecho								
		pico da manhã (8:00 as 10:00 hs)			pico da tarde (15:00 hs em diante)			entre picos (10:00 as 15:00 hs)		
		Consumo [l/km]	Velocidade Km/h	Ocupação [pax]	Consumo [l/km]	Velocidade Km/h	Ocupação [pax]	Consumo [l/km]	Velocidade Km/h	Ocupação [pax]
0	Terminal da CBTU-Central	-	-	51,2	-	-	6,2	-	-	12,0
1	Av. Passos, 89	0,6	9,3	52,6	0,4	12,0	9,0	0,4	9,7	13,1
2	Av. Passos, Teatro Nelson Rodrigues	0,6	16,4	52,3	0,4	13,4	11,7	0,5	16,2	15,0
3	Av. Rio Branco, Bibl. Nacional	0,4	12,1	54,6	0,3	24,8	20,2	0,3	17,7	22,9
4	Av. Naç. es Unidas Hotel Glória	-	-	54,0	-	-	20,3	-	-	22,9
5	Av. Naç. es Unidas Ed. Argentina	0,3	40,3	52,1	0,2	33,7	19,5	0,2	44,1	22,8
6	Av. Lauro Sodré, Canecão	0,4	29,3	47,3	0,3	33,1	17,5	0,3	45,5	21,3
7	R. Barata Ribeiro, 48	0,3	20,4	41,1	0,3	36,1	18,1	0,3	29,7	18,8
8	R. Barata Ribeiro, 250	0,4	17,6	37,6	0,4	18,5	17,3	0,4	19,3	18,3
9	R. Barata Ribeiro, 560	-	-	32,5	-	-	13,3	-	-	16,8
10	R. Barata Ribeiro, 746	0,4	12,3	21,9	0,4	10,7	8,0	0,4	19,5	12,7
11	R. Prud. Moraes, Pça.Gal. Osório [T]	0,8	8,4	16,8	0,4	15,1	10,9	0,4	13,5	10,8
12	R. Fco.Sá, 89	0,4	5,2	15,9	0,5	6,4	14,1	0,6	6,4	12,7
13	Av. N.s. de Copa., Correios 1049	0,5	11,6	18,4	0,5	7,0	18,3	0,4	10,7	15,1
14	Av. N.s. de Copa., CEF	0,4	12,8	21,2	0,4	6,9	23,6	0,5	10,8	17,1
15	Av. N.s. de Copa., 685	0,5	6,0	22,9	0,7	6,3	26,0	0,6	7,9	18,1
16	Av. N.s. de Copa., Praça	0,4	15,1	23,3	0,6	14,0	29,8	0,5	17,2	21,6
17	Av. Princesa Isabel, 166	0,5	7,6	25,6	0,4	20,2	31,5	0,4	15,0	24,3
18	Av. Lauro Sodré, Rio Sul	0,3	46,4	26,9	0,4	35,3	39,3	0,3	35,5	24,6
19	Av. Naç. es Unidas, Ponto 1	0,3	36,4	28,0	0,3	20,8	41,3	0,3	27,4	24,6
20	Av. Antônio Carlos, Fórum	0,4	25,2	18,3	0,2	41,2	37,8	0,2	39,2	17,8
21	Av. Presidente Vargas, Ponto 2	0,4	12,4	12,3	0,6	9,6	30,1	0,4	10,4	13,9
22	Terminal Entrada	0,2	17,6	0,8	0,2	33,2	2,9	0,2	34,0	0,8

Tabela 7.2.Síntese das informações obtidas a partir da pesquisa com o OUC – intervalo de velocidades.

PONTO	REFERÊNCIA	Intervalo de velocidades					
		pico da manhã (8:00 as 10:00 hs)		pico da tarde (15:00 hs em diante)		entre picos (10:00 as 15:00 hs)	
		mínima km/h	máxima km/h	mínima km/h	máxima km/h	mínima km/h	máxima km/h
0	Terminal da CBTU-Central	-	-	-	-	-	-
1	Av. Passos, 89	7,5	11,2	8,6	20,9	4,8	20,0
2	Av. Passos, Teatro Nelson Rodrigues	7,0	21,0	10,5	14,6	4,2	21,0
3	Av. Rio Branco, Bibl. Nacional	6,7	20,0	15,0	30,0	12,0	30,0
4	Av. Naç es Unidas Hotel Glória	-	-	-	-	-	-
5	Av. Naç es Unidas Ed. Argentina	16,8	60,0	25,0	37,5	26,6	60,0
6	Av. Lauro Sodré, Canecão	4,7	42,0	21,0	42,0	28,0	84,0
7	R. Barata Ribeiro, 48	3,0	31,1	28,6	60,0	27,7	30,0
8	R. Barata Ribeiro, 250	12,0	30,0	12,0	28,4	9,0	36,0
9	R. Barata Ribeiro, 560	-	-	-	-	-	-
10	R. Barata Ribeiro, 746	7,6	17,1	8,5	12,9	9,0	45,0
11	R. Prud. Moraes, Pça. Gal. Osório [T]	3,1	19,3	9,2	19,7	8,0	20,0
12	R. Fco.Sá, 89	0,7	7,3	3,0	13,5	3,0	18,0
13	Av. N.s. de Copa., Correios 1049	0,9	23,0	2,7	9,6	6,9	16,0
14	Av. N.s. de Copa., CEF	0,5	24,0	6,0	10,0	2,1	30,0
15	Av. N.s. de Copa., 685	0,0	12,0	5,1	8,2	5,2	12,0
16	Av. N.s. de Copa., Praça	0,4	39,0	4,8	30,0	4,0	62,6
17	Av. Princesa Isabel, 166	1,2	13,0	13,0	30,4	9,8	19,5
18	Av. Lauro Sodré, Rio Sul	0,7	84,0	16,0	48,0	16,0	48,0
19	Av. Naç es Unidas, Ponto 1	1,2	99,0	1,0	28,0	21,0	42,0
20	Av. Antônio Carlos, Fórum	4,8	44,0	34,1	60,2	24,8	56,6
21	Av. Presidente Vargas, Ponto 2	0,9	28,0	3,5	16,8	4,6	14,0
22	Terminal Entrada	1,0	42,0	28,0	42,0	28,0	42,0

A análise dos perfis de velocidade média, consumo médio, percentual de tempo parado, número de paradas por percurso e carregamento por trecho são informações que podem ser obtidas das planilhas. A exploração destas informações têm desdobramento amplo, porém, o principal resultado a ser explorado neste momento é a função curva de consumo.

Aplicando o software Statistica, módulo de regressão múltipla (*multiple regression*) adotou-se o processo *step wise* para escolha das variáveis. O conjunto inicial de variáveis independentes incluiu V_m , $1/V_m$, V_m^2 e CARR (carregamento). O resultado é apresentado na equação 7.3.

$$C = 0,446605 + \frac{0,213417}{V_m} - 0,001144664 V_m + 0,000117 V_m^2 + 0,000911 CARR \quad [l/km] \quad (7.3)$$

σ	(0,050475)	(0,213717)	(0,00281)	(0,0000414)	(0,00398)
t	(8,848)	(-3,95)	(5,5635)	(2,8325)	(2,29)
ns	$(6,16 \cdot 10^{-17})$	$(1,57 \cdot 10^{-7})$	$(9,6 \cdot 10^{-5})$	(0,00491)	(0,02267)

$$R^2 = 0,56767$$

$$n = 325$$

$$r = 0,753439$$

O ajuste foi obtido com um coeficiente de correlação mediano (0,56767), um pouco maior que o obtido para o ônibus urbano convencional testado pelo GEIPOT, mas inferior que o encontrado por Balassiano (1980). A Figura 7.6 apresenta o nuvem de pontos do levantamento de campo e duas curvas de consumo. A curva superior representa o consumo em função da velocidade média com o OUC descarregado – sem passageiros. A curva inferior representa o consumo do OUC com 70 passageiros, representando carga total.

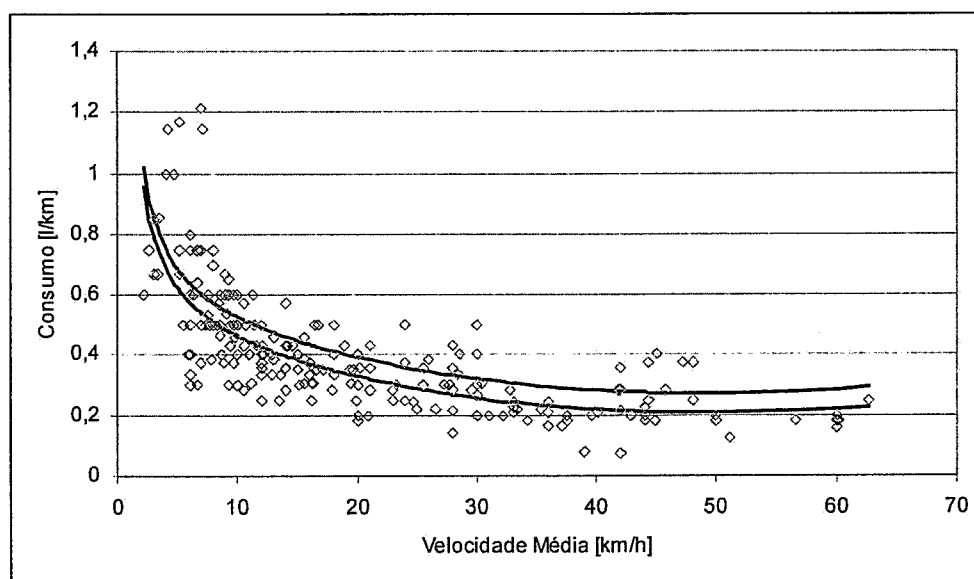
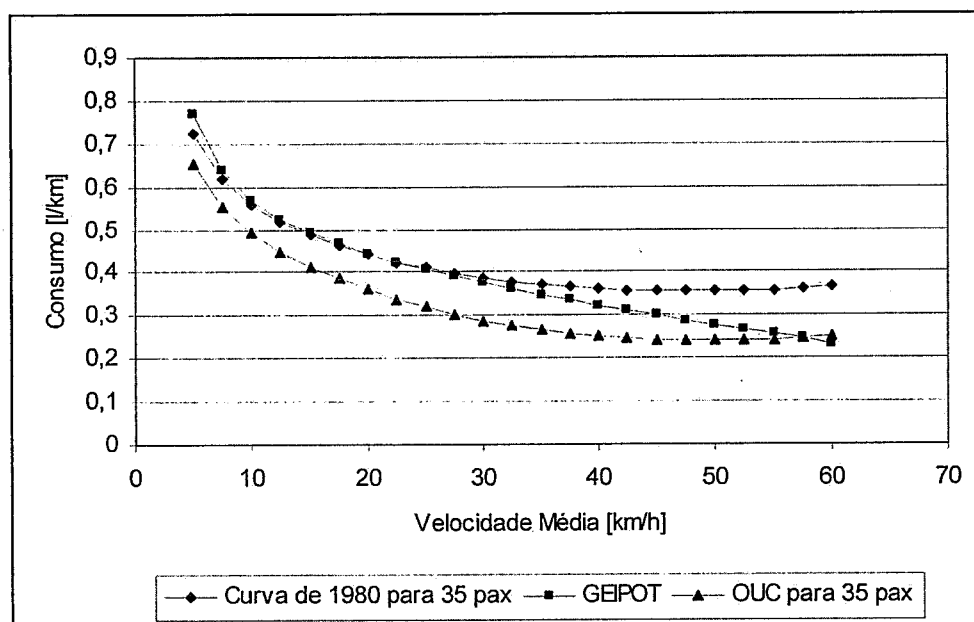


Figura 7.6. Curvas de consumo do OUC.

Finalmente, é possível comparar os resultados obtidos pelos estudos de Balassiano (1980), GEIPOT (1986) com a curva da equação 7.6. A Figura 7.7 apresenta esta comparação.



Nota: A curva de 1980 foi obtida a partir do trabalho de Balassiano (1980) considerando o carregamento médio de 35 pax.

Figura 7.7. Comparativo entre pesquisas de consumo realizadas para ônibus convencionais.

Como se pode verificar, a curva de consumo do OUC apresentou melhores valores de consumo que o veículo testado em 1980. É possível que esta diferença de consumo reflita uma evolução tecnológica dos ônibus urbanos nos últimos 20 anos. Manteve-se a limitação de modelo apresentado pelo trabalho do GEIPOT, que a princípio não apresenta bons resultados para valores maiores que 40 km/h, por não incluir o termo V_m^2 .

7.3. Ônibus Padron convencional (Padron C) e Ônibus Padron híbrido (Padron H)

A princípio, foram obtidos resultados que relacionassem o consumo destes veículos com intervalos de velocidade.

As Tabelas 7.3 e 7.4 apresentam o comparativo para o teste de consumo na condição carregado e descarregado, respectivamente. Para o cálculo das diferenças percentuais o consumo horário do ônibus Padron C foi considerado como referência. Para cada intervalo de velocidades foram indicados os valores das médias dos consumos horários e seus máximos e mínimos calculados em função do intervalo de confiança, considerando um erro sempre menor ou igual a 5% em relação à média, a 90% de significância.

Tabela 7.3.Comparativo do consumo horário – condição carregado.

Intervalo de Velocidade Média [km/h]	Consumo Horário [km/l]						Diferença Relativa		
	Padron H			Padron C			Máxima	Média	Mínima
	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo			
10 a 14,9	1,77	1,72	1,67	1,32	1,27	1,22	45,44%	35,56%	26,43%
15 a 29,9	2,17	2,07	1,97	1,59	1,53	1,47	48,10%	35,41%	23,69%
20 a 24,9	2,59	2,46	2,34	1,90	1,81	1,72	50,66%	36,31%	23,33%
25 a 29,9	3,07	2,98	2,89	2,08	1,98	1,88	63,27%	50,59%	39,12%

Tabela 7.4.Comparativo do consumo horário – condição descarregado.

Intervalo de Velocidade Média [km/h]	Consumo Horário [km/l]						Diferença Relativa		
	Padron H			Padron C			Máxima	Média	Mínima
	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo			
10 a 14,9	2,28	2,19	2,10	1,64	1,56	1,49	53,43%	40,15%	28,14%
15 a 29,9	2,63	2,50	2,38	1,81	1,72	1,63	60,66%	45,36%	31,51%
20 a 24,9	2,68	2,56	2,43	1,90	1,83	1,76	52,70%	39,61%	27,53%
25 a 29,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: - Não atingiu esta faixa de velocidade.

A diferença relativa máxima considera o valor máximo de consumo horário do veículo Padron H e o valor mínimo do veículo Padron C. A diferença relativa mínima considera o valor mínimo do consumo horário do veículo Padron H e o valor máximo do veículo Padron C. Assim, a diferença relativa mínima representa a menor economia de combustível esperada pelo uso do ônibus Padron H.

As Figuras 7.8 e 7.9 permitem uma melhor visualização das diferenças obtidas no consumo horário médio para as condições de veículo carregado e descarregado. Optou-se por apresentar as barras de erro para uma melhor visualização das diferenças máxima e mínima. A linha tracejada na Figura 9 indica o valor de consumo mínimo estabelecido na referência do Ministério dos Transportes de 2,0 km/h para uma velocidade média de 20 km/h. Este valor de referência é obtido considerando 30 repetições de um ciclo de tráfego hipotético, onde o veículo acelera de 0 a 40 km/h em 18 segundos, trafega a 40 km/h por 17 segundos, desacelera em 8 segundos e fica parado por 17 segundos.

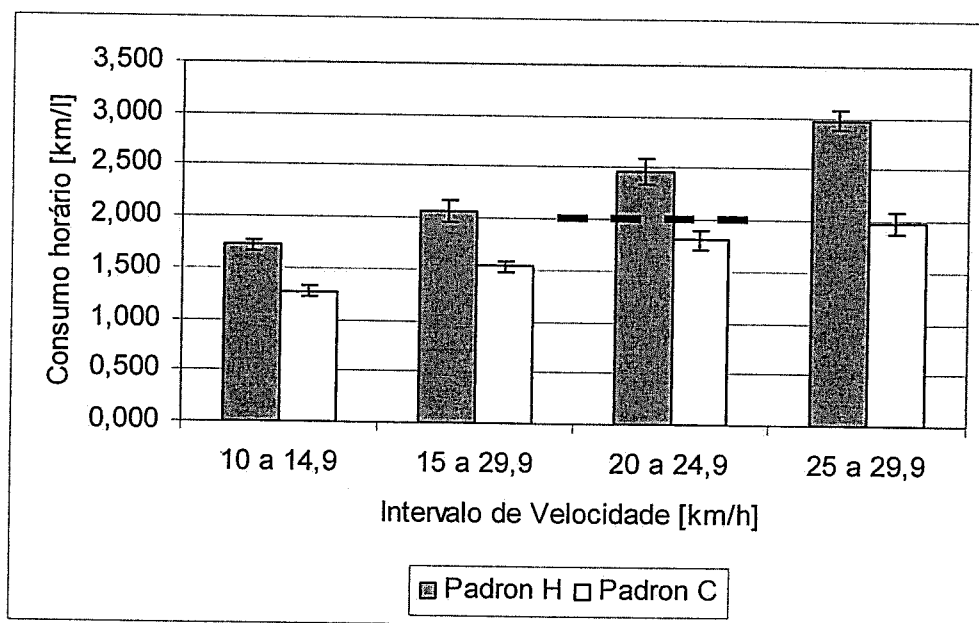


Figura 7.8 Comparativo com os veículos carregados.

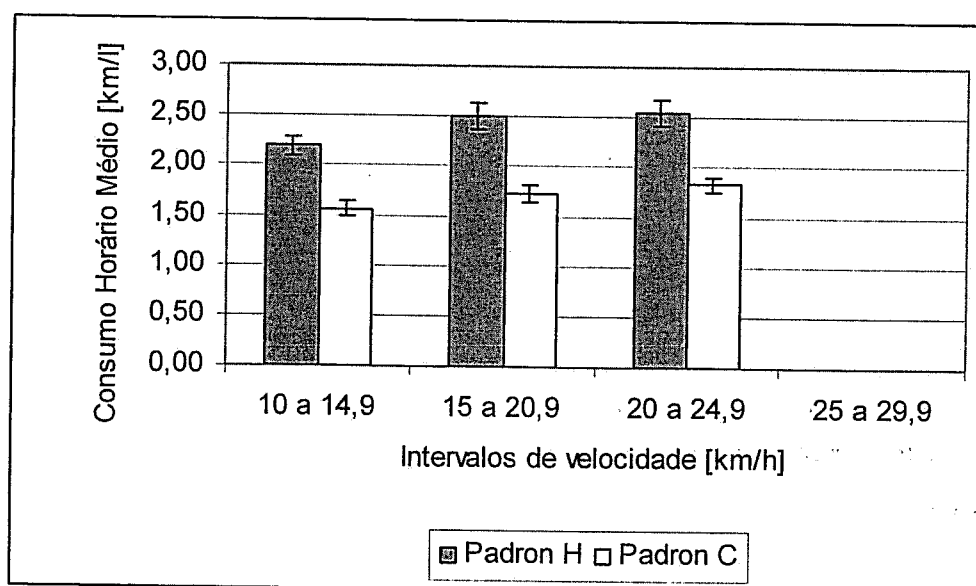


Figura 7.9. Comparativo com os veículos descarragados.

A análise dos resultados indica que o veículo Padron H carregado é no mínimo 23,33% mais econômico que o veículo Padron C para as condições estabelecidas no teste. Isso ocorre para um intervalo de velocidades médias entre 20 e 24,9 km/h. Para a condição de veículo carregado, a diferença relativa média do consumo horário varia numa proporção direta com os intervalos de velocidades médias.

Para a condição de veículo descarregado observam-se melhores resultados e o veículo Padron H é no mínimo 27,53% mais econômico que o Padron C, considerando o intervalo de velocidades médias entre 20 e 24,9 km/h. Nesta condição a diferença relativa média oscila entre 39,61% e 45,46%.

O veículo Padron H também apresenta consumo horário melhor que o estabelecido na referência do Ministério dos Transportes, sendo no mínimo 17% melhor e em média 23% melhor.

O ajuste de curvas para o caso destes dois veículos se limitou ao uso do software Microsoft Excel. Uma análise mais completa com aplicação do Statistica deverá ser realizada futuramente. As equações 7.5 a 7.8 apresentam estes resultados.

Padron H ~~Carregado~~ ^{Des-carregado}: $C = 0,0005V_m^2 - 0,0398V_m + 1,0239$ $R^2 = 0,6234$ (7.5)

Padron H ~~Descarregado~~ ^{Carregado}: $C = 0,0012V_m^2 - 0,051V_m + 0,9424$ $R^2 = 0,4765$ (7.6)

Padron C ~~Carregado~~ ^{Des-carregado}: $C = 0,0005V_m^2 - 0,0414V_m + 1,1816$ $R^2 = 0,5913$ (7.7)

Padron C ~~Descarregado~~ ^{Carregado}: $C = 0,0019V_m^2 - 0,0959V_m + 1,6936$ $R^2 = 0,4635$ (7.8)

Respeitando as limitações do ajuste de curvas obtido no Excell, foi feita a comparação destes resultados com aqueles obtidos pelo GEIPOT. A Figura 7.10 apresenta o que se obteve para o caso do ônibus Padron C.

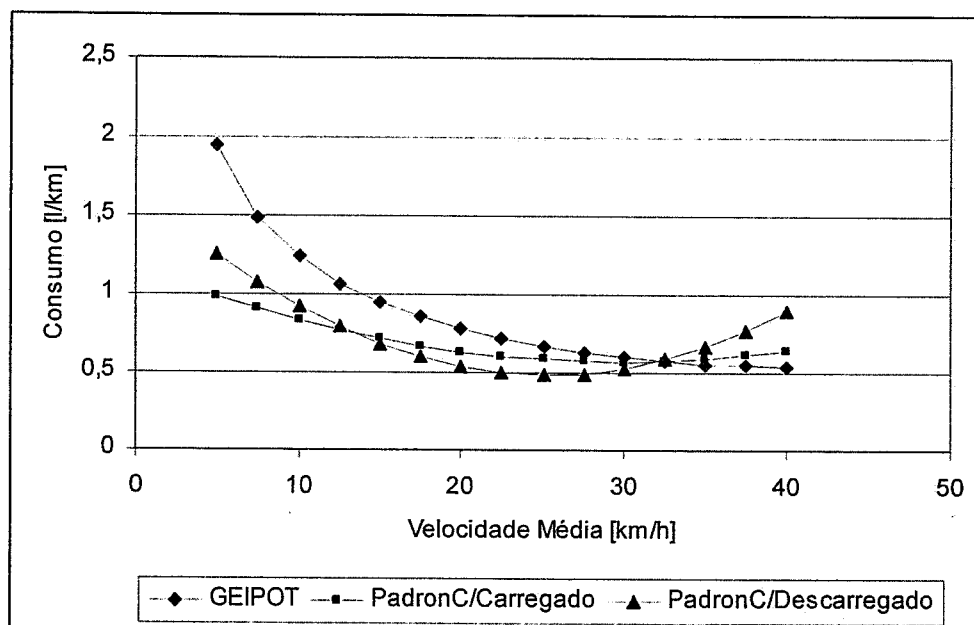


Figura 7.10 Comparativo dos ônibus Padron convencionais.

A Figura 7.10 demonstra uma melhor adequação do ajuste de curvas para um intervalo bastante limitado de valores de velocidade média – entre 10 e 30 km/h. Isso se deve à limitações na coleta de dados no corredor metropolitano, que limitava o tráfego em velocidades médias mais altas.

Mesmo assim, a curva do GEIPOT apresenta valores muito mais altos para todas as faixas de velocidade, principalmente nas baixas velocidades, onde a influência do termo $1/V_m$ se faz de forma mais marcante. Sem dúvida a modelagem desta curva de consumo precisa ser aprimorada.

7.4. Microônibus

No caso do microônibus, utilizou-se diretamente os resultados obtidos por Costa (2003). O trabalho testa um modelo de curva de consumo como função de V_m , $1/V_m$, V_m^2 e CARR. O resultado obtido é apresentado da equação 7.9.

$$C = 0,479 - 0,00998V_m + \frac{0,715}{V_m^2} + 0,0000864V_m^2 + 0,001310CARR \quad R^2 = 0,74 \quad (7.9)$$

A Figura 7.11 apresenta o comparativo entre o OUC e o microônibus, ambos considerando meia carga – no caso do microônibus, 15 pax.

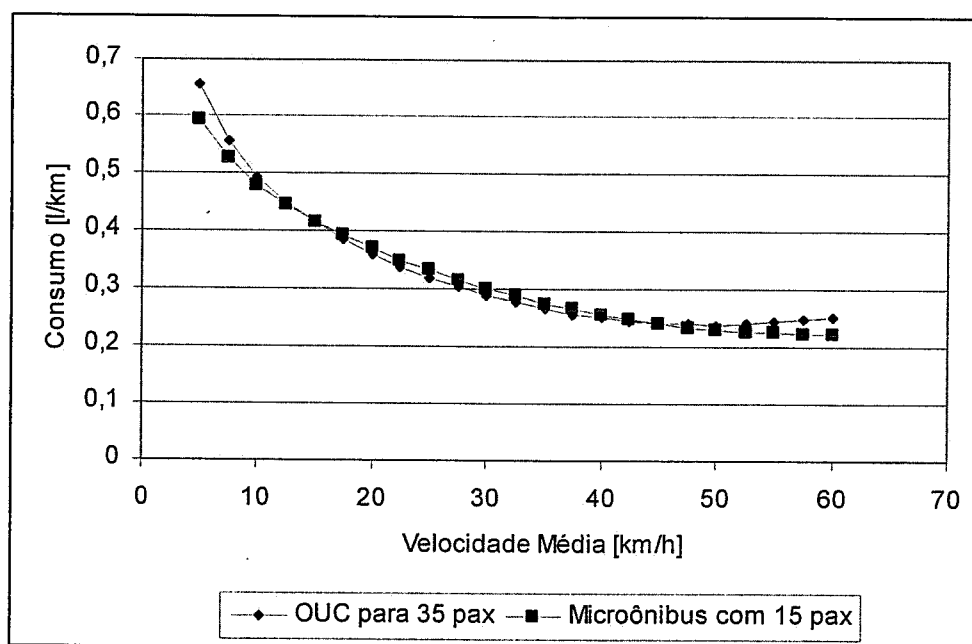


Figura 7.11. Comparativo microônibus e OUC.

Aparentemente o microônibus apresenta consumo um pouco exagerado, que praticamente se confunde com os resultados obtidos para o ônibus urbano convencional (OUC). Como

aproveitou-se os resultados do trabalho realizado por Costa (2003), recomenda-se uma análise mais detalhado dos resultados obtidos.

9.COMENTÁRIOS FINAIS

Considerando como principal resultado o levantamento das curvas de consumo para o automóvel tipo e o ônibus urbano convencional, obteve-se resultados bastante significativos e ajustes das curvas adequados ao levantamento de dados.

Adicionalmente, incluiu-se informações adicionais sobre o consumo de combustível dos ônibus Padron convencional, Padron híbrido e microônibus, que não estavam na proposta inicial. Estes resultados decorrem de um estudo expedito da curva de consumo destes veículos e estão sendo aprimorados.

Optou-se por enfatizar o estudo do consumo de combustível no transporte urbano rodoviário coletivo, em detrimento de uma análise mais abrangente para os automóveis. Enfatizou-se também o levantamento ed dados na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, o que permite uma análise bastante abrangente de percursos radiais e transversais no que se refere à velocidade média, tempo parado, número de paradas e consumo de combustível.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

- ANP/ANEEL (1999) Eficiência Energética: Integrando Usos e Reduzindo Desperdícios, Agência Nacional de Petróleo e Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, BR.
- ANTP/IPEA (1998). Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte
- Balassiano, R (1980) Uma Função de Consumo de Combustível para Ônibus em Tráfego Urbano. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Berchtold, R. L. (1997). Alternative Fuels Guidebook, Society of Automotive Engineers, Inc, USA.
- Borrego, C. e Sucharov, L. (1998). Urban Transport and The Environment for The 21st Century IV, Computational Mechanics Publication, WITPress, UK.
- Brebbia C. A. e Usó J. L. (1999). Ecosystems and Sustainable Development II, Computational Mechanics Publication, WITPress, UK.
- CALIPER Corporation, Maptitude (Geographic Information System for Windows). User's Guide, Version 3.0, 1994-95.
- CALIPER Corporation, TransCAD (Transportation Workstation Software). Reference Manual, Version 2.0 e 3.0, 1991 e 1996.
- Davis Jr., C.A. e F.T. Fonseca (1997). GIS Fundamentos. Apostila de curso do GIS BRASIL 97, Sagres Editora, Curitiba.
- DNER/GEIPOT (1992). Diretrizes Ambientais para o Setor de Transportes, Ministério dos Transportes, Secretaria Nacional de Transportes, Empresa Brasileira de Planejamento e Transportes, Brasília, BR.
- Fumento, M. (1997). Polluted Science, The EPA's Campaign to Expand Clean Air Regulation, The AEI Press, Washington, D.C.
- GEIPOT (1998). Anuário Estatístico dos Transportes, Empresa Brasileira de Planejamento e Transportes, Brasília, BR.
- Gillespie, T.D. (1992). Fundamental of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, Inc, USA.
- Heywood, I., S. Cornelius e S. Carver (1998). An Introduction to Geographical Information Systems. Addison Wesley Longman Limited, Harlow, England.
- MME (1999). Balanço Energético Nacional 1999, Ministério de Minas e Energia, Brasília, BR.
- Nevers, N (1995). Air Pollution Control Engineering, Mc Graw Hill Book Co.
- Paredes, E. A (1994). Sistema de Informação Geográfica. Princípios e Aplicações. Editora Érica Ltda., São Paulo.

- Peirce, J. J.; Weiner, R. F.; Vesilind, P. A. (1998). Environmental Pollution and Control, Ed. Butterworth – Heinemann, U.S.A.
- Poulton M. L. (1994). Alternative Fuels for Road Vehicles, Computational Mechanics Publication, U.K.
- Poulton, M. L. (1997). Fuel Efficient Car Technology, Computational Mechanics Publication, U.K.
- Riley, R. Q. (1994). Alternative Cars in the 21st Century, Society of Automotive Engineers, Inc, USA.
- SAE SP-1201 (1996). Commercial Vehicles and Highway Dynamics, Global Mobility Database, Society of Automotive Engineers, Inc, USA.
- Santos, M.P.S. (1980) Estudo da Variação de Consumo de Combustível em Relação ao Desempenho do Sistema de Tráfego Urbano. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Schwela D. e Zali O. (1999). Urban Traffic Pollution, E & Fn Spon, London.
- Silva, A.N.R. (1998). Ferramentas Específicas de um Sistema de Informações para Transportes. São Carlos.
- Silva, A.N.R. e P.V. Warden (1997). First Steps with a Geographic Information System for Transportation. São Francisco Gráfica e Editora, Ribeirão Preto.
- Silva, A.N.R., J.J.O. Melo e N.C.M. Brondino (1997). Uma Introdução ao Planejamento de Transportes com Sistemas de Informação Geográfica, São Carlos.
- NTU. Dados Estatísticos da Confederação Nacional dos Transportes Urbanos – NTU. Brasília: Confederação Nacional dos Transportes Urbanos, 2003. See also: www.ntu.org.br.
- FABUS. Informações Estatísticas. São Paulo: Associação Brasileira dos Fabricantes de Ônibus, 2002.
- ANTP. O Transporte urbano do século 21. Revista dos Transportes Públicos, nº 96, ano 24, 3º trimestre. São Paulo: Associação Nacional dos Transportes Públicos, 2002.
- GEIPOT/EBTU (1983). Standardization Study of City Buses, Final Report. Brasília, Ministério dos Transportes, Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - GEIPOT, Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos – EBTU.
- FINEP (1983). Aspectos Metodológicos para Implantação de Trólebus em Corredores Urbanos, Rio de Janeiro, Financiadora de Estudos e Projetos, Comissão SEPLAN/Energia, Consórcio Setepla/Engeconsult.

- ANTP (2000). Anuário ANTP dos Transportes Urbanos 2000. São Paulo: Associação Nacional dos Transportes Públicos.
- SAE (1996). Automotive Handbook, 5th Edition. Warrendale: Society of Automotive Engineering.
- Cuddy, M. R. & Wipke, K. B (1997). Analysis of the Fuel Economy Benefit of Drivetrain Hybridization, National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, Colorado.
- NAVC (2000). Hybrid-Electric Drive Heavy-Duty Vehicle Testing Project, Final Report. West Virginia: Northeast Advanced Vehicle Consortium.
- O'Keefe, M. P. & Vertin, K. (2002) An Analysis of Hybrid Electric Propulsion Systems for Transit Buses, Milestone Completion Report. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- ELETRA (2002). Technical Information on Brazilian Hybrid Vehicles. São Paulo: Eletra Tecnologia de Tração Elétrica.
- ANTP. Anuário ANTP dos Transportes Urbanos 2000. São Paulo: Associação Nacional dos Transportes Públicos, 2000.
- ANTP. Anuário ANTP dos Transportes Urbanos 1998. São Paulo: Associação Nacional dos Transportes Públicos, 1998.
- NTU (2003). Anuário 2002/2003. www.ntu.org.br/frame_banco.htm. Em 08/08/2003.
- NTU (2002). Transporte Informal no Brasil – Riscos e propostas – Pesquisa NTU 2001. www.ntu.org.br/frame_banco.htm. Em 28/05/2003.
- Costa; H. R. (2003). Uma função de consumo de combustível para veículos do tipo microônibus. Tese de Mestrado em andamento. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro, RJ.
- FINEP/ENGEVIX (1982). Conservação de energia no setor de transporte – Pesquisa de consumo de energia no transporte urbano. Minuta do Relatório Final, São Paulo.
- GEIPOT (1986). Pesquisa sobre consumo de combustível em área urbana – CONSURB. Relatório Final. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Ministério dos Transportes, Brasília, DF.

IPEA (2001) Relatório de desenvolvimento humano do Rio, Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

IPLAN (1997) Transportes Urbanos – A Demanda da Região Metropolitana, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

Matheus, L. (2001). Condenados ao engarrafamento. O GLOBO, Caderno RIO, 2ª Edição, 26/03/2001, pag. 9.

VW (2000). Manual do Proprietário. VW Gol 1.0 16V.

ANEXOS

Anexo – Modelo de planilha de levantamento de dados para pesquisa em ônibus



PEIT - Programa de Engenharia de Transportes
Empresa: Saes/Pena

Data: ____/____/____ Porta D []
Hora: ____:____ Porta T []

Pesquisador: _____

Folha Núm.: _____

UFRJ

PONTO	Referência	Consumo	Tempo	Parada no Ponto		Parada Fora do Ponto	
				E	D	E	D
0	Terminal da CBTU-Central						
1	Av. Passos, 89						
2	Av. Passos, Teatro Nelson Rodrigues						
3	Av. Rio Branco, Bibl. Nacional						
4	Av. Naç es Unidas Hotel Glória						
5	Av. Naç es Unidas Ed. Argentina						
6	Av. Lauro Sodré, Canecão						
7	R. Barata Ribeiro, 48						
8	R. Barata Ribeiro, 250						
9	R. Barata Ribeiro, 560						
10	R. Barata Ribeiro, 746						
11	R. Prud. Moraes, Pça. Gal. Osório [T]						
12	R. Fco. Sá, 89						
13	Av. N.s. de Copa., Correios 1049						
14	Av. N.s. de Copa., CEF						
15	Av. N.s. de Copa., 685						
16	Av. N.s. de Copa., Praça						
17	Av. Princesa Isabel, 166						
18	Av. Lauro Sodré, Rio Sul						
19	Av. Naç es Unidas, Ponto 1						
20	Av. Antônio Carlos, Fórum						
21	Av. Presidente Vargas, Ponto 2						
22	Terminal Ponto Inicial						