

PROGRAMA 10 - PLANEJAMENTO DE ESTRATÉGIAS E SISTEMÁTICAS DE  
AÇÃO PARA O CONTROLE DE VEÍCULOS

PROJETO 10.4 - PESQUISA DA VELOCIDADE MÉDIA

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA  
AV. PROF. FREDERICO HERMANN JR., 345 CEP 05489 PINHEIROS  
SÃO PAULO - BRASIL

Divisão de Alternativas de Energia  
GFPAE/SEAR/DEAM

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS MÉDIOS PRINCIPAIS DO TRÁFEGO URBANO  
RELACIONADOS À EMISSÕES VEICULARES NA RMSP

PESQUISA DE VELOCIDADE MÉDIA

INTRODUÇÃO

A qualidade do ar está ligada nitidamente ao trânsito de veículos automotores, pois estes são responsáveis pela emissão de 96% do monóxido de carbono, 83% dos óxidos de nitrogênio, 76% dos hidrocarbonetos, 18% de óxidos de enxofre e 8% de material particulado, se comparados ao total de poluentes emitidos por fontes móveis e estacionárias na Região da Grande São Paulo.

Verifica-se que o comportamento da concentração de CO como pode ser observado na figura 1, que foi obtida experimentalmente em São Paulo, é periódico e ligado aos horários comerciais, sendo portanto, função das características do tráfego de veículos.

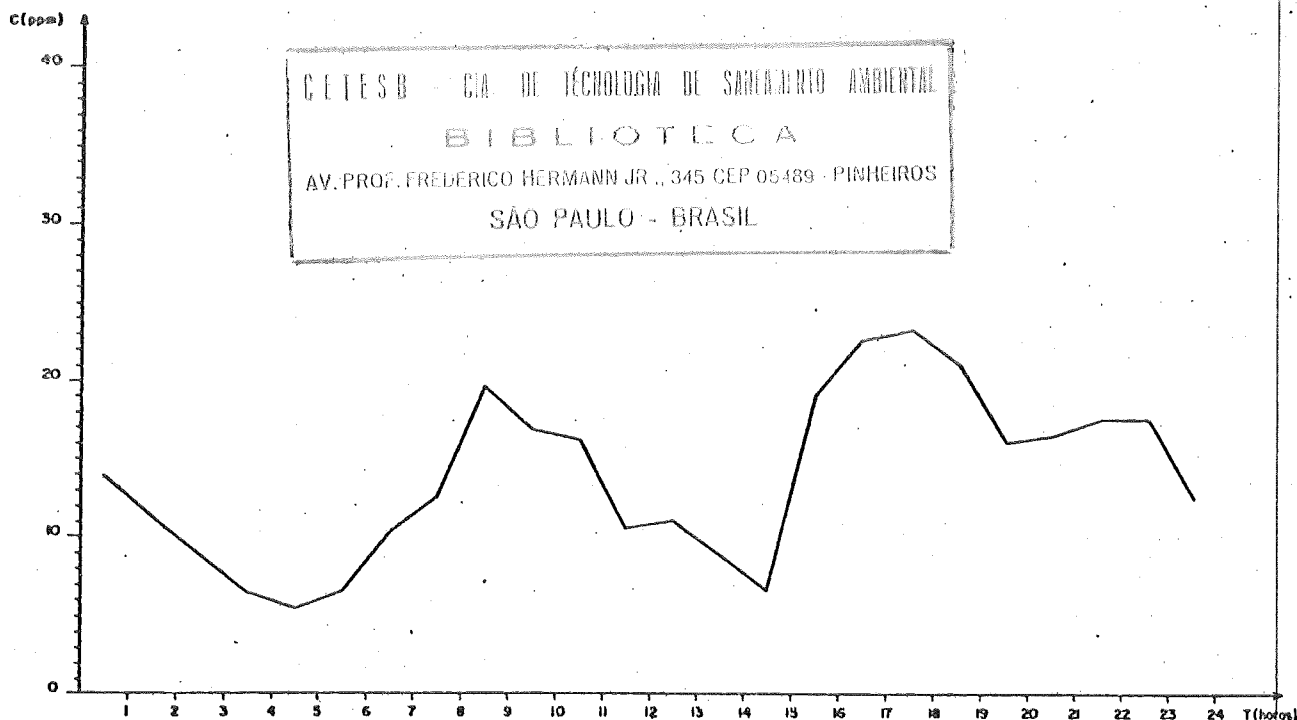


Figura 1 - Variação típica das concentrações médias horárias do poluente monóxido de carbono.

Com base nessa informação, planejou-se a pesquisa de velocidade média para se levantar as características básicas do tráfego de veículos leves com o objetivo de justificarmos o tipo e a forma de simulação de uma viagem urbana padrão em laboratório, que permita a avaliação das emissões veiculares em gramas por quilo metro rodado. Quanto à metodologia de análise dos gases já foi escolhida a Amostragem por Volumes Constantes (método Americano) que é o melhor método utilizado internacionalmente.

Esta pesquisa focalizou parâmetros fundamentais como velocidade, tempo e percurso médios nas viagens urbanas, bem como a determinação das condições do veículo (frio ou quente) por ocasião das partidas, que serão comparadas com os parâmetros dos ciclos de condução urbana existentes.

#### METODOLOGIA UTILIZADA

Procurou-se conhecer as características fundamentais do comportamento dos veículos particulares em trânsito urbano, tanto em grandes avenidas e corredores, quanto nas vias secundárias. Por isso o levantamento de dados foi efetuado através de informações individuais de voluntários que se propuseram a anotar os horários e quilometragens de cada percurso (viagem) executado, independentemente do tipo de vias utilizadas. Conseguiu-se assim uma avaliação das características do trânsito de São Paulo, incluindo os períodos de espera em sinais, cruzamentos, descida de passageiros, etc.

Considerando-se a existência de variações sazonais das características do tráfego de veículos, cada voluntário forneceu seus dados colhidos durante uma semana, repetindo-se a coleta a cada mês. Dividiu-se o grupo de pessoas em quatro subgrupos que foram caracterizados como segue:

- Semana 1 - do dia 01 até o dia 07
- Semana 2 - do dia 08 até o dia 14
- Semana 3 - do dia 15 até o dia 21
- Semana 4 - do dia 22 até o dia 28

Em março de 1979 foi iniciada a pesquisa, sendo fornecida aos participantes uma carta explicativa do procedimento desta

pesquisa e a ficha-cartão a ser preenchida, ambas apresentadas no Anexo I.

A amostra inicial possuía cerca de 100 participantes os quais chegaram em agosto de 1979 a um máximo de 269 integrantes e no fim desse estudo a 146 devido ao desligamento de funcionários da Companhia e ao aumento do preço da gasolina.

Os dados solicitados foram Quilometragem e Horário no início e fim de cada viagem, assim como os bairros de origem e destino para se verificar a região abrangida pela pesquisa.

O período de preenchimento dos cartões se iniciou no momento em que o participante toma o veículo pela manhã até às 21:00h pois, os dados colhidos a partir desse horário não são representativos do trânsito congestionado. Entretanto, mais tarde se pretendeu verificar a compatibilidade das porcentagens de partidas a frio e a quente das normas americanas com as condições brasileiras, havendo portanto, a necessidade de se estender o período de tomada de dados para todos os momentos de uso do veículo, mesmo que fosse após às 21:00 h.

A partir desse momento deixou-se de utilizar o asterísco nas viagens realizadas durante fins de semana e passou-se a anotar as datas em uma coluna suplementar às das anotações gerais, não existente no início da pesquisa.

### CÁLCULOS

Para os cálculos utilizou-se uma calculadora HP-97 com um programa (anexo II) gravado em cartão magnético.

Os dados de entrada para a execução do programa consistem na hora e leitura do hodômetro na origem e no fim da viagem. Os resultados obtidos com a entrada de tais dados no programa são: a velocidade média, o percurso médio por viagem, o tempo médio gasto no percurso com os respectivos desvios-padrão e uma classificação das viagens segundo o intervalo de tempo em que o motor permaneceu desligado antes do seu início de funcionamento como mostrado a seguir:

Classificação da viagem	Período de motor desligado (horas)
A	0 + 2
B	2 + 4
C	4 + 6
D	6 + 8
E	8 + 10
F	10 + 12
G	> 12

As velocidades médias individuais, semanais, mensais e anuais foram calculadas de forma a ponderar a extensão de cada percurso de forma a evitar influências exageradas dos percursos pequenos sobre os maiores. Assim a velocidade média num intervalo foi calculada pela relação entre a soma dos percursos e a soma dos respectivos intervalos de tempo.

Foi também calculada a média das velocidades semanais, cuja proximidade com a velocidade média calculada acima indica uma consistência dos resultados.

#### FÓRMULAS PARA CÁLCULOS

Velocidade média:  $\bar{v} = \frac{\bar{k}}{\bar{h}}$

Percurso médio:  $\bar{k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i$

. onde:  $k_i$  = percurso de cada viagem  
 $n$  = número de viagens

Tempo médio:  $\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$

. onde:  $h_i$  = duração de cada viagem

Desvio padrão do percurso:  $S_k = \sqrt{\frac{\sum k_i^2 - \frac{(\sum k_i)^2}{n}}{n-1}}$

Desvio padrão da duração: 
$$S_h = \sqrt{\frac{\sum h_i^2 - \frac{(\sum h_i)^2}{n}}{n-1}}$$

Período de motor desligado: 
$$P_i = h_{s_i} - h_{c_{i-1}}$$

. onde:  $h_s$  = hora de saída

$h_c$  = hora de chegada

$P_i$  = intervalo de tempo em que o motor permaneceu desligado

% de casos por período:

$$\% = \frac{\text{nº de viagens de determinada classificação}}{\text{nº total de viagens classificadas}}$$

Média das velocidades médias: 
$$\bar{V} \bar{v} = \frac{\sum \bar{v}}{m}$$

. onde:  $m$  = número de fichas.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os dados fornecidos pelas tabelas 1, 2 e 3 foram feitos os gráficos de velocidade média e quilometragem média semanal e mensal, versus mês, como se mostra a seguir. Desses gráficos, devido a uma não variação significativa da quilometragem média, pode-se dizer que os dois picos apresentados pela velocidade média são consequência do menor número de veículos em circulação no período de férias e a variação da velocidade média nos trechos anteriores aos picos é consequência do aumento do preço da gasolina e decréscimo da intensidade do tráfego de veículos.

O método americano de medição de emissões veiculares considera fatores de ponderação, para o cálculo da quantidade de poluentes, iguais a 43% e 57% referentes respectivamente à partida a quente e a frio. Para a adoção desse método completo, fizemos uma verificação do seu significado em termos de período de motor desligado como é apresentado na tabela 4. Dos dados fornecidos por esta, verifica-se que 57% das partidas correspondem realmente às viagens "quentes". Considera-se "partida a quente", aquelas que se reiniciaram dentro de zero a pouco mais de quatro horas sendo 41% dentro de duas horas, e "partida a frio" aquelas onde o motor ficou desligado de seis horas para mais, sendo que 35% são viagens iniciadas após 8 horas de desligamento.

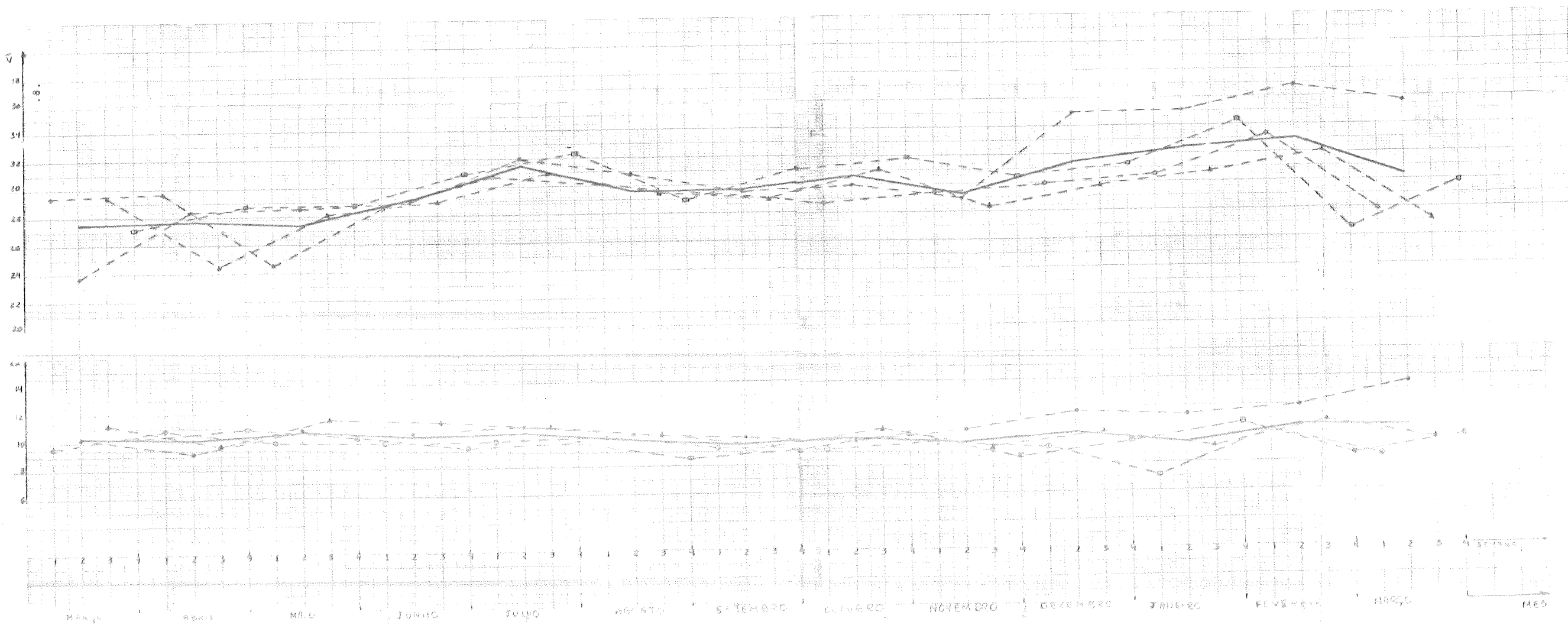




TABELA 1 - Velocidade média semanal em km/hora

Mês Semana	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
1	29.41	29.66	24.51	28.54	30.77	30.11	29.32	28.74	29.40	29.91	30.47	33.25	27.98
2	23.77	28.44	28.52	28.98	32.05	30.82	29.51	31.01	29.14	34.95	35.11	36.89	35.70
3	29.49	24.47	28.11	29.00	30.87	28.48	29.07	31.05	28.27	29.81	30.66	32.12	27.22
4	27.19	28.70	28.68	30.97	32.33	28.92	31.11	31.87	30.55	31.33	34.38	26.62	29.88

TABELA 2 - Quilometragem média semanal em km

Mês Semana	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
1	9.63	10.75	9.89	9.81	9.89	10.06	9.32	9.17	9.64	9.18	7.05	10.22	8.44
2	10.21	9.23	10.73	10.53	10.89	10.25	10.04	9.95	10.49	11.70	11.36	11.98	13.57
3	11.15	9.71	11.45	11.26	10.81	10.24	9.26	10.62	9.27	10.21	9.14	10.91	9.55
4	10.28	10.91	10.19	9.37	9.67	8.45	9.13	10.27	8.47	9.50	10.79	8.51	9.80

TABELA 3 - Resultados mensais

Mês	$\bar{v}$ (km/horas)	$\bar{h}$ (horas)	Sh (horas)	$\bar{k}$ (km)	Sk (km)	$\frac{\bar{v}}{\bar{v}}$ (km/horas)
Março	27.48	0:22	1:12	10.30	9.25	-
Abril	27.71	0:22	0:18	10.20	9.10	27.58
Mai	27.38	0:23	0:27	10.62	9.81	27.97
Junho	29.17	0:21	0:39	10.32	9.48	29.00
Julho	31.47	0:19	0:13	10.37	9.25	31.25
Agosto	29.61	0:20	0:28	9,88	8.28	29.16
Setembro	29.66	0:19	0:13	9.45	8.04	29.24
Outubro	30.62	0:19	0:14	10:02	8.64	30.39
Novembro	29.21	0:19	0:14	9.59	8.03	29.04
Dezembro	31.45	0:19	0:13	10.21	9.60	31.63
Janeiro	32.43	0:17	0:12	9.43	8.03	32.26
Fevereiro	33.03	0:19	0:15	10.64	11.48	30.82
Março	30.40	0:20	0:14	10.50	9.33	30.48
Média Mensal*	29.97	0:20	0:26	10.12	9.11	29.90
Média Geral**	29.50	0:20	0:27	9.96	9.06	29.93

TABELA 4 - Porcentagens de ocorrência das viagens segundo suas classificações

Mês	Intervalos (horas)						
	0 → 2	2 → 4	4 → 6	6 → 8	8 → 10	10 → 12	> 12
Agosto	42	12	10	3	14	6	13
Setembro	41	12	7	3	13	7	15
Outubro	42	12	9	2	14	6	15
Novembro	41	12	8	3	14	6	14
Dezembro	39	12	10	3	14	8	14
Janeiro	43	12	7	3	12	7	15
Fevereiro	39	10	10	3	9	12	17
Março	37	9	7	6	16	8	17
Média Mensal*	41	11	8,5	3,25	13,25	7,5	14
Média Geral**	41	12	9	3	13	8	14

\* A média mensal é a média das médias mensais.

\*\* A média geral foi calculada com o número total de viagens contadas no período considerado independentemente dos meses em que ocorreram, ou seja, é a média ponderada.

## CONCLUSÃO

Considerando-se que a velocidade média obtida é de 29,50 km/hora verifica-se que o comportamento do nosso trânsito assemelha-se ao norte americano, ou seja, ao do teste padronizado para a medição de emissões, cuja velocidade é de 31,5 km/hora. Em relação aos fatores de ponderação adotados os resultados obtidos mostram que viagens nitidamente quentes são predominantes em 53% dos casos. Não se pode determinar o valor numérico exato desse fator, mas a adoção da norma americana é compatível com os resultados dessa pesquisa, tanto em termos de velocidade e percurso médios como para os fatores de ponderação.

A tabela 5 mostra a comparação dos resultados aqui obtidos com os valores especificados nas normas americana e européia.

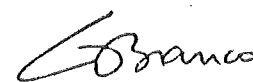
TABELA 5 - Quadro comparativo

	Veloc. média (km/h)	Percurso médio (km)	Duração média (minutos)
Pesquisa	29.5	10.0	20
Norma Americana	31.5	12.1	22.8
Norma Européia	18.7	1.0 (4.0 total)	3.2

Elaborado por:



ESTAG. MAIRA D.S.R. DOS SANTOS



ENGº GABRIEL MURGEL BRANCO  
 Chefe da Divisão de Alternativas  
 de Energia



Prezado Sr.:

A CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, com a finalidade de obter dados de velocidade média para o tráfego de São Paulo, vem por meio desta solicitar a colaboração de V.Sa.. Caso deseje colaborar, com o fornecimento de seus dados, preencha a ficha em anexo a cada viagem que V.Sa. fizer, anotando no campo "saídas", o início e no campo "chegadas", o término. Considere como viagem cada percurso que executar, por exemplo: se V.Sa. for de sua casa ao posto de gasolina, do posto ao trabalho, do trabalho ao clube e deste à sua casa, terão sido executadas 04 viagens.

Para o correto preenchimento da ficha, queira seguir a especificações abaixo:

- I - SAÍDAS - a. Anote o bairro de partida, mesmo que sua viagem seja dentro do próprio bairro;
- b. Anote a hora exata da partida, com precisão de 01 minuto;
- c. Anote a leitura exata do hodômetro.

II - CHEGADAS - Proceda da mesma forma que para as saídas.

IMPORTANTE: Não faça estimativa; caso tenha esquecido de anotar algum dado, deixe-o em branco. Só anote valores exatos.

Marque com um asterisco as leituras efetuadas aos sábados, domingos e feriados.

As leituras após as 21:00 horas são dispensáveis.

A pesquisa terá a duração de um ano, sendo realizada em apenas uma semana de cada mês.

Todos os dados, fornecidos por V.Sa., serão mantidos pela DFM, em caráter confidencial.

Em caso de dúvida, consulte o Eng<sup>o</sup> Carlos Otavio, ramal 226.

Atenciosamente

Divisão de Fontes Móveis /GEA







Prezado Sr.:

A CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, com a finalidade de obter dados de velocidade média para o tráfego de São Paulo, vem por meio desta solicitar a colaboração de V.S.<sup>a</sup>. Caso deseje colaborar, com o fornecimento de seus dados, preencha a ficha em anexo a cada viagem que V.S.<sup>a</sup> fizer; anotando no campo "saídas", o início e no campo "chegadas", o término. Considere como viagem cada percurso que executar, por exemplo: se V.S.<sup>a</sup> for de sua casa ao posto de gasolina, do posto ao trabalho, do trabalho ao clube e deste à sua casa, terão sido executadas 04 viagens.

Para o correto preenchimento da ficha, queira seguir as especificações abaixo:

I. SAÍDAS

- a. Anote o bairro de partida, mesmo que sua viagem seja dentro do próprio bairro;
- b. Anote a hora exata, com precisão de 01 minuto;
- c. Anote a leitura exata do hodômetro

II. CHEGADAS

Proceda da mesma forma que para as saídas.

III. DIAS

Anote a data da 1.<sup>a</sup> viagem de cada dia.

IMPORTANTE: Não faça estimativas, caso tenha esquecido de anotar algum dado, deixe-o em branco. Só anote valores exatos.

A pesquisa terá a duração de um ano, sendo realizada em apenas uma semana de cada mês.

Todos os dados, fornecidos por V.S.<sup>a</sup>, serão mantidos pela DFM, em caráter confidencial.

Em caso de dúvida, consulte o Eng<sup>o</sup> Carlos Otavio, ramal 226.

Atenciosamente

Eng<sup>o</sup> Gabriel Murgel Branco  
Chefe da Divisão de Fontes  
Móveis





ANEXO II

PROGRAMA PARA CÁLCULO DE VELOCIDADE MÉDIA E NÚMERO DE PARTIDAS

LINHA	COMANDO	LINHA	COMANDO	LINHA	COMANDO	LINHA	COMANDO	LINHA	COMANDO
001	LBL f A		GTO 5		STO + 8		RCL 3		÷
002	RCL 0		1		1		STO 8		+
003	f R↑		2		STO + 9		RCL B		Print x
004	x ↔ y		x ↔ y		f $\bar{x}$		STO 9		RCL 5
005	R↓		f $\bar{x}$ > y		R/S		fP ↔ S		Print x
006	R↓		GTO 5		x ↔ y		RCL 8		RCL 8
007	LBL A		2		R/S		R/S		÷
008	GBS 2		÷		fS		RCL 9		+
009	Σ+		1		R/S		R/S		Print x
010	RCL E	060	+	110	x ↔ y	160	÷	210	RCL 6
011	RCL C		STO I		R/S		R/S		Print x
012	-		1		RTN		0		RCL 8
013	f $\bar{x}$ > 0		STO-i		LBL C		STO 8		÷
014	GTO f C		LBL 5		fP ↔ S		STO 9		+
015	2		1		RCL 4		GTO B		Print x
016	4		STO-7		RCL A		LBL f d		RCL 7
017	+		RTN		+		RCL 1		Print x
018	LBL f C		LBL 2		STO A		RCL 2		RCL 8
019	1		STO 0		RCL 5		+		÷
020	2	070	x ↔ y	120	STO + 0	170	RCL 3	220	+
021	x ↔ y		HMS→H		RCL 6		+		Print x
022	f $\bar{x}$ > y		STO D		STO + 1		RCL 4		RTN
023	GTO 3		R↓		RCL 7		+		
024	2		-		STO + 2		RCL 5		
025	÷		CHS		RCL 8		+		
026	1		R↓		STO + 3		RCL 6		
027	+		HMS→H		RCL 9		+		
028	STO I		STO E		RCL B		RCL 7		
029	1		-		+		+		
030	STO+i	080	fR↑	130	STO B	180	STO 8		
031	GTO 4		x ↔ y		0		RCL 1		
032	LBL 3		÷		STO 4		Print x		
033	1		f $\bar{x}$ > 0		STO 5		RCL 8		
034	STO + 7		GTO 1		STO 6		÷		
035	LBL 4		0		STO 7		Print x		
036	RCL D		÷		STO 8		RCL 2		
037	STO C		LBL 1		STO 9		Print x		
038	fP ↔ S		6		STO C		RCL 8		
039	RCL 9		0		fP ↔ S		÷		
040	fP ↔ S	090	x ↔ y	140	RTN	190	+		
041	RTN		f $\bar{x}$ > y		LBL D		Print x		
042	LBL f B		R/S		fP ↔ S		RCL 3		
043	GBS 2		f pause		RCL A		Print x		
044	fΣ-		fR↑		STO 4		RCL 8		
045	R/S		f last x		RCL 0		÷		
046	STO C		RTN		STO 5		+		
047	RCL E		LBL B		RCL 1		Print x		
048	RCL C		RCL Σ		STO 6		RCL 4		
049	-		÷		RCL 2		Print x		
050	f $\bar{x}$ < 0	100	R/S	150	STO 7	200	RCL 8		

MEMÓRIAS UTILIZADAS

$$R_C = h_{C_i}$$

$$R_D = h_{C_{i+1}}$$

$$R_E = H_{S_{i+1}}$$

$\Delta H_i$

$$R_1 = 0 - 2$$

$$R_2 = 2 - 4$$

$$R_3 = 4 - 6$$

$$R_4 = 6 - 8$$

$$R_5 = 8 - 10$$

$$R_6 = 10 - 12$$

$$R_7 = 12 \rightarrow$$

$$R_8 = \Sigma \Delta H$$

$\Sigma+$

$$R_{S_4} = \Sigma x \rightarrow \Sigma H = A$$

$$R_{S_5} = \Sigma x^2 \rightarrow \Sigma H^2 = 0$$

$$R_{S_6} = \Sigma y \rightarrow \Sigma K = 1$$

$$R_{S_7} = \Sigma y^2 \rightarrow \Sigma K^2 = 2$$

$$R_{S_8} = \Sigma xy \rightarrow \Sigma HK = 3$$

$$R_{S_9} = n = B$$

$$R_8 = \Sigma \nabla$$

$$R_9 = n$$

## APÊNDICE

### Apresentação

Nesta parte poderão ser encontrados:

Como primeiro tópico:

- . dados individuais, semanais, mensais referentes a:
  - velocidade média
  - quilometragem média e seu desvio
  - intervalo de tempo médio e seu desvio

O cálculo para esse tópico é análogo aos já vistos anteriormente.

Como segundo tópico:

- . mapa representativo dos locais mais frequentados pelos participantes da pesquisa. Na sua construção considerou-se a presença do bairro na ficha-cartão, não sendo considerada a reincidência do local na mesma ficha.



Data Aquis.:	22/8/91
Indic.:	
Livraria:	
Preço: Cr\$	
Data Tamba:	22/8/91