

CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE EMISSÕES DE VEÍCULOS
DIVISÃO DE PROGRAMAS DE REDUÇÃO DE POLUIÇÃO VEICULAR

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Galvez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BR SP

EFEITO DAS CONDIÇÕES DE TRÁFEGO
NA EMISSÃO DE POLUENTES
POR VEÍCULOS LEVES

EFEITO DAS CONDIÇÕES DE TRÁFEGO NA EMISSÃO DE POLUENTES POR VEÍCULOS LEVES

por

E.M.MURGEL¹ e A.SZWARC²

RESUMO -- Os estudos realizados no Brasil, EUA e diversos outros países, relativos à emissão de poluentes pelos veículos automotores leves consideram, como referência, uma velocidade média de tráfego de 31,5 km/h. Todavia, é frequente, em grandes centros urbanos, uma diminuição sensível nessa velocidade média, em consequência de tráfego congestionado. Este trabalho apresenta um novo ciclo de ensaio de emissão veicular em dinamômetro de chassi, cuja velocidade foi reduzida para 19 km/h, simulando uma situação de congestionamento. Com o novo ciclo, verificou-se nos ensaios realizados em oito veículos um aumento médio de 25% nas emissões de monóxido de carbono, 20% nas emissões de hidrocarbonetos e uma redução de 15% nas emissões de óxidos de nitrogênio. Foi também verificado um aumento de 20% no consumo de combustível.

INTRODUÇÃO

Nos grandes centros urbanos do país as vias de tráfego estão num contínuo processo de saturação. Diversos fatores têm contribuído para este problema, dentre os quais pode-se destacar o rápido crescimento da frota de veículos, o incentivo ao uso do transporte individual, devido às deficiências crônicas dos sistemas de transporte coletivo, a inadequação dos atuais sistemas viários para a demanda de transporte existente e a falta de planejamento no uso do solo urbano.

A saturação, progressiva ou imediata, das vias de tráfego resulta na diminuição da velocidade média de cada veículo, o que acarreta os seguintes inconvenientes:

- aumento no consumo de combustíveis;
- aumento dos níveis de poluição atmosférica;
- outros problemas, como aumento de "stress" dos motoristas, dificuldades no atendimento a serviços de emergência etc., que entre tanto não são objeto deste trabalho.

¹ Engenheiro da CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, SP.

² Engenheiro da CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e Mestre em Controle da Poluição Ambiental, São Paulo, SP.

De acordo com levantamentos da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), a velocidade média do tráfego, no Município de São Paulo, se situa em torno de 30 km/h. Analisando-se o desempenho do sistema viário, observa-se uma variação sensível nessa média, em função do horário, dia da semana e outras condições conjunturais, como acidentes, fatores meteorológicos, obras junto às vias, férias escolares, preço dos combustíveis etc.

Em 1986, durante a euforia de consumo provocada pelo Plano Cruzado, verificou-se, de acordo com a CET, uma redução de cerca de 30% na velocidade média das principais vias de tráfego.

Considerando-se que a frota de veículos leves (ciclo Otto), tem um efeito significativo sobre a matriz energética, resultando num consumo anual de aproximadamente quatro milhões de m³ de combustível (álcool e gasolina), apenas na Região Metropolitana de São Paulo e que, particularmente nos grandes centros urbanos, é a principal responsável pela poluição do ar por determinados poluentes (em São Paulo, cerca de 80% da emissão de monóxido de carbono, 60% da emissão de hidrocarbonetos e 20% da emissão de óxidos de nitrogênio, ocorre através do tubo de escapamento dos veículos leves a álcool e a gasolina) é de interesse o estudo do comportamento desses veículos, sob condições de tráfego congestionado, de modo a se poder otimizar o seu desempenho e reduzir a emissão de poluentes nestas condições. Elaborou-se, então, um novo ciclo de condução, simulando um congestionamento, no qual a velocidade média foi reduzida para 19 km/h, segundo o qual foram ensaiados diversos veículos nacionais.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Embora não se tenha conhecimento de nenhum estudo, realizado no Brasil, relativo à influência da velocidade média do tráfego na emissão de poluentes pelos veículos, existem alguns trabalhos, realizados no exterior, que chegam a apresentar dados bastante completos, abrangendo desde estudos específicos dos veículos, até planos de reestruturação urbana.

Para se determinar a emissão de poluentes por veículos leves, deve-se ensaiá-los em dinamômetro de chassi, seguindo um ciclo de condução padrão, desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA), dos EUA, que é conhecido internacionalmente como Federal Test Procedure 75 (FTP-75), estabelecido também na norma brasileira NBR-6601.

O ciclo de condução padrão simula uma viagem média, em área urbana, de 12,1 km. O ensaio completo consiste em dois ciclos, sendo um com partida a frio e outro com partida a quente, havendo um intervalo de 10 minutos, com o motor desligado, entre as duas fases. O ensaio de partida a frio é dividido em duas etapas. A primeira, que consiste num período de estabilização térmica do veículo, tem a duração de 505 segundos e uma extensão equivalente a 5,7 km, denominada fase transitória; e a segunda etapa, ou fase estabilizada, consiste na conclusão dos 6,4 km restantes do ciclo, já com as temperaturas normais de trabalho do veículo. Da mesma forma, o ensaio de partida a quente possui uma fase transitória e uma estabilizada, sendo que a segunda é idêntica à fase estabilizada da partida a frio. Por causa disso, o ensaio de partida a quente termina ao final do primeiro período (505 s). Portanto, o ensaio

io completo consiste em 3 fases, com um intervalo de 10 minutos entre a segunda e a terceira fase, percorrendo um total de 17,8 km, cujos resultados são ponderados entre as fases I e III e somados à fase II através de um procedimento de cálculo apropriado, conforme norma NBR-6601.

O "Compilation of Air Pollutant Emissions Factors" (1985), apresenta uma série de fórmulas, uma para cada ano-modelo de veículo, do fator de correção em função da velocidade média. Esse fator deve ser multiplicado pela emissão medida no ciclo de condução padrão, que possui uma velocidade média de 31,5 km/h, sendo idêntico ao ciclo normalizado no Brasil pela NBR-6601. Os fatores de correção são calculados para os três principais poluentes de origem veicular: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NO_x). A Tabela 1 apresenta os fatores de correção calculados para a velocidade de 19 km/h e a Tabela 2 mostra ao fator de emissão médio, conforme ano-modelo, até 1981, dos veículos leves norte-americanos a gasolina, a 31,5 km/h e a 19 km/h.

Tabela 1. Fatores de Correção para 19 km/h - USA

Modelo	CO	HC	NO _x
pré-68	1,50	1,50	1,00
68	1,56	1,54	0,98
69	1,74	1,52	0,97
70	1,73	1,47	0,93
71	1,68	1,48	0,95
72	1,63	1,48	0,90
73-74	1,70	1,63	0,89
75-77	1,39	1,53	0,84
78-79	1,59	1,56	1,09
80	1,42	1,66	1,00
81	1,41	1,43	1,13

Para os veículos ingleses, Apling elaborou curvas de fatores de emissão de CO, HC e NO_x em função da velocidade média, entre 10 e 110 km/h, determinando faixas de variação da emissão para os diversos modelos. Aplicando-se as velocidades de 31,5 km/h e 19 km/h nessas curvas, obtém-se os dados expostos na Tabela 3.

Em trabalho realizado por Ponthieu, na França, verificou-se o efeito de uma racionalização do tráfego, que elevou a velocidade média de 15,3 para 21,3 km/h, sobre a emissão de poluentes por veículos. Dessa forma, foi constatada uma melhoria de 20% no consumo de combustível e uma diminuição da emissão de poluentes, da ordem

de 15% para o CO, 20% para o HC e 25% para o NO_x.

Tabela 2. Fatores de Emissão Médios (g/km) - USA

Modelo	31,5 km/h			19,0 km/h		
	CO	HC	NO _x	CO	HC	NO _x
Pré-68	48,6	4,5	2,1	72,9	6,8	2,1
68	35,0	2,8	2,7	54,6	4,3	2,6
69	35,0	2,8	2,7	60,9	4,3	2,6
70	26,2	1,9	1,8	45,3	2,8	1,7
71	26,2	1,9	1,8	44,0	2,8	1,7
72	25,3	2,1	1,5	41,2	3,1	1,4
73-74	25,3	2,1	1,5	43,0	3,4	1,3
75-77	11,3	0,7	1,1	15,7	1,1	0,9
78-79	11,3	0,7	1,1	18,0	1,1	1,2
80	3,8	0,2	0,9	5,4	0,3	0,9
81	1,3	0,2	0,4	1,8	0,3	0,5

Tabela 3. Fator de Emissão Característico - Inglaterra

	Emissão (g/km)		Fator de Correção (B/A)
	31,5 km/h (A)	19 km/h (B)	
CO	7 a 30	10 a 38	1,26 a 1,42
HC	1,4 a 3,0	1,9 a 4,1	1,35 a 1,36
NO _x	0,8 a 3,5	0,8 a 3,7	1,00 a 1,14

HIPÓTESES DE TRABALHO

Uma diminuição da velocidade média de tráfego, sendo provocada por congestionamentos, pressupõe um maior número de acelerações e desacelerações, um aumento do tempo em que os veículos permanecem parados com o motor em marcha lenta e ainda velocidades mais baixas.

Durante as acelerações e desacelerações, um motor com carburador convencional opera com misturas ricas, isto é, há um excesso

de combustível para a quantidade de ar aspirada pelo motor, o que resulta num aumento da emissão de CO e HC. Isto ocorre porque na aceleração é preciso injetar combustível adicional para garantir uma boa dirigibilidade e na desaceleração, devido à brusca redução no ar de admissão, a pressão do coletor de admissão diminui e o combustível líquido já existente no tubo de admissão se evapora formando uma mistura mais rica.

Durante as acelerações, há um aumento significativo de carga no motor e, conseqüentemente, observa-se temperaturas e pressões mais elevadas, o que implica em maiores taxas de emissão de NO_x.

Com relação ao regime de marcha lenta, sabe-se que o motor opera com uma mistura excessivamente rica em combustível, sendo que a eficiência da combustão fica bastante comprometida, provocando assim uma alta taxa de emissão de CO e HC. Em contrapartida, devido às temperaturas mais baixas do motor em regime de marcha lenta, visto estar operando sem carga, torna-se insignificante a emissão de NO_x, nessa condição.

Desta forma, numa situação de congestionamento, é de se esperar que haja um aumento da emissão de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC), havendo porém, como foi explicado anteriormente, um aumento ou diminuição na emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x), dependendo da frequência e intensidade das acelerações e do período de operação em velocidades muito baixas e marcha lenta. O consumo de combustível também aumenta, pois está diretamente relacionado com a operação do motor com misturas ricas.

METODOLOGIA

Na determinação da influência de uma diminuição da velocidade média de tráfego nas emissões de poluentes, foi considerada uma redução dessa velocidade de 31,5 km/h para 19 km/h. Para tanto, foram utilizados 8 veículos de marcas e modelos diferentes, sendo um movido a gasolina e os demais movidos a álcool. Os veículos eram de uso normal, e foram devidamente regulados, conforme as especificações dos fabricantes, antes da realização dos ensaios. Estes foram realizados no Laboratório de Emissão Veicular da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, em dinamômetro de chassi, com sistema de amostragem em volume constante (CVS) e bancada de analisadores para determinação de CO, HC, NO_x e CO₂. Nos testes foram utilizados combustíveis do tipo comercial.

Cada veículo foi ensaiado 4 vezes, em dias consecutivos, sendo 2 ensaios de emissão e consumo conforme descrito na norma NBR-6601, que determina um ciclo de condução padrão cuja velocidade média é 31,5 km/h, e 2 ensaios realizados também conforme a norma, porém utilizando-se um ciclo de condução modificado, cuja velocidade média é de 19 km/h.

Para se ensaiar os veículos com uma velocidade média de 19 km/h, foi criado um novo ciclo, derivado do ciclo FTP-75. Adotou-se o procedimento de utilizar o ciclo FTP-75 como base, visto que, conceitualmente, o mesmo apresenta diversas qualidades, já mencionadas anteriormente. Além disso, torna-se desnecessário o complexo e custoso processo de obtenção e tratamento de dados, utilizado na elaboração do ciclo FTP-75.

Para a elaboração deste novo ciclo de condução, que passaremos a denominar "ciclo congestionamento", foram estabelecidos os seguintes critérios:

- a) velocidade média entre 15 e 20 km/h;
- b) distância percorrida pelo veículo igual a 12,1 km (fase 1 e 2).

A velocidade média do ciclo foi definida dentro da faixa de 15 a 20 km/h, visto que, embora um tráfego considerado como "congestionamento pesado" possa ser caracterizado por velocidades próximas a 10 km/h, admitiu-se a existência de veículos com velocidade de mais elevada no entorno do congestionamento, cujos efeitos globais se quer determinar. Consequentemente, embora a velocidade média possa estar de 50% a 100% acima da velocidade típica de "congestionamento pesado", esta representa uma redução de 36 a 52% na velocidade média do ciclo FTP-75, fato suficiente para caracterizar uma viagem, com tráfego congestionado. Uma justificativa adicional para a escolha da faixa de velocidade é o fato de que a velocidade média do ciclo europeu (19 km/h) representa as condições de tráfego comuns nas regiões centrais de diversas cidades européias que tem, como característica, tráfego congestionado.

O critério de se estabelecer a distância percorrida pelo ciclo em 12,1 km se deve ao interesse em haver uma coincidência, neste aspecto, com o ciclo FTP-75, bastante representativa das condições brasileiras. Esta coincidência permite uma comparação de resultados obtidos nos dois ciclos, dentro da perspectiva de que no caso do FTP-75 teríamos uma viagem normal, num dado percurso, e que no caso do novo ciclo, teríamos uma situação de saturação do tráfego no mesmo percurso, fato corriqueiro em horas de rush. Tais critérios foram atendidos através das seguintes modificações no perfil da fase II do ciclo FTP-75 (vide Figura 1, em anexo):

- a) redução em 50% da velocidade média;
- b) redução em 50% da distância percorrida em cada trecho compreendido entre dois períodos consecutivos de marcha lenta;
- c) diminuição em 25% das acelerações;
- d) manutenção das desacelerações;
- e) limite da velocidade em 32 km/h;
- f) redução de todas as velocidade, em cerca de 30%, desde que respeitadas as condições anteriores.

A conjugação das condições acima provoca um aumento considerável dos períodos de marcha lenta na fase modificada, elevando o tempo nesse regime de 2,7 minutos para 8,9 minutos.

Para compensar a diminuição das velocidades e não alterar a distância total percorrida, na execução do ensaio, o ciclo resultante deve ser repetido mais uma vez. Portanto, o ciclo congestionamento é composto por três fases, sendo que a primeira e a terceira são idênticas às do ciclo convencional, e a segunda fase consiste em se percorrer duas vezes seguidas a fase estabilizada modificada, o que equivale a dizer que cada veículo inicia e termina sua

viagem fora do congestionamento. Dessa forma, temos, como resultado, um ciclo com uma velocidade média, na segunda fase, reduzida de 26,6 km/h para 13,3 km/h (congestionamento pesado), o que implica numa velocidade média global reduzida de 31,5 km/h para 19,5 km/h e a manutenção do percurso original de 12,1 km.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados de interesse dos ensaios realizados nos 8 veículos encontram-se na Tabela 4, onde são apresentados os valores médios de emissão de poluentes e consumo de combustível para cada veículo, operados segundo o ciclo convencional e segundo o ciclo modificado (congestionamento).

Tabela 4. Resultados de Emissão de Poluentes (g/km) e Consumo de Combustível (Autonomia de km/l)

Veículo	Ciclo Normal				Ciclo Congestionamento			
	CO	HC	NO _x	Aut.	CO	HC	NO _x	Aut.
A*	21,2	2,1	2,2	9,9	30,6	2,3	1,8	8,0
B	16,6	1,9	1,2	7,1	21,3	2,1	0,9	5,8
C	9,8	1,2	1,4	11,1	12,5	1,8	1,5	7,7
D	53,3	7,7	0,5	5,8	54,0	8,2	0,4	4,9
E	9,9	1,7	0,9	8,9	9,3	2,1	0,8	7,4
F	13,3	3,6	1,4	6,7	17,4	4,9	1,2	5,6
G	29,2	3,2	1,5	5,7	39,9	3,2	1,2	4,7
H	15,6	4,6	1,0	7,1	21,0	5,5	0,8	5,7

* O veículo "A" é movido a gasolina e os demais a álcool.

A Tabela 5 indica a relação entre os resultados obtidos com o ciclo congestionamento e com o ciclo normal, para cada veículo, e a média desses valores, que é o fator de correção, para 19 km/h, da emissão de poluentes pelo escapamento de veículos leves.

Tabela 5. Fatores de Correção Obtidos para
19 km/h (congest./normal)

Veículo	CO	HC	NO _x	Aut.
A*	1,44	1,10	0,82	0,81
B	1,28	1,11	0,75	0,82
C	1,28	1,50	1,07	0,69
D	1,01	1,06	0,80	0,84
E	0,94	1,24	0,89	0,83
F	1,31	1,36	0,86	0,84
G	1,37	1,00	0,80	0,82
H	1,34	1,18	0,78	0,80
Média	1,25	1,19	0,85	0,81
D.P.	0,18	0,17	0,10	0,05

* O veículo "A" é movido a gasolina e os demais a álcool.

DISCUSSÃO DOS DADOS

Os dados apresentados nas Tabelas 5 e 6 indicam um aumento nas emissões de CO e HC e consumo de combustível, e uma redução na emissão de NO_x em todos os casos, exceto em um ensaio.

Os resultados obtidos pelo veículo a gasolina são bastante próximos à média dos resultados dos veículos a álcool, o que permite analisar conjuntamente os dados de todos os modelos, independente do combustível utilizado.

Dessa forma, observa-se um aumento médio de 25% na emissão de CO e 20% na emissão de HC. A emissão de NO_x sofreu uma redução média de 15% e o consumo de combustível aumentou em 20%. Esses resultados vêm confirmar as hipóteses anteriormente levantadas para tráfego congestionado.

Para os veículos nacionais, os fatores de emissão medidos conforme NBR-6601, dos modelos a álcool e gasolina, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Fator de Emissão (g/km) - Brasil

Ano Modelo	Álcool			Gasolina		
	CO	HC	NO _x	CO	HC	NO _x
pré-84	18,0	1,0	1,0	33,0	3,0	1,4
84	16,9	1,3	1,1	28,0	2,4	1,3
85	14,4	1,9	1,2	19,2	2,0	1,6
Média da frota* circulante	18,8	1,6	1,1	40,5	3,8	1,4

* Valor mais elevado, pois leva em consideração a degradação dos motores.

Aplicando-se os fatores de correção relacionados na Tabela 5 aos fatores de emissão médios da frota circulante expostos na Tabela 6, recalcula-se os fatores de emissão médios nas ocasiões em que a velocidade de tráfego for de 19 km/h, em média, obtendo-se os seguintes valores:

Veículos a Álcool:

CO = 23,5 g/km
 HC = 1,9 g/km
 NO_x = 0,9 g/km

Veículos a gasolina:

CO = 50,6 g/km
 HC = 4,6 g/km
 NO_x = 1,2 g/km

Comparando-se os dados da literatura com os resultados obtidos, observa-se que os fatores de correção para 19 km/h, segundo a USEPA, variam muito conforme o ano-modelo, sendo que o mais próximo dos dados obtidos, são os fatores dos modelos 75-77, que indicam um aumento de 39% na emissão de CO e 53% na emissão de HC, e uma redução da emissão de NO_x em 16%. Todos os fatores de correção norte-americanos para CO e HC são superiores aos determinados neste trabalho. Os fatores de correção da USEPA para o NO_x são maiores que 1 para os modelos mais recentes, coincidindo assim com os valores apresentados por Apling e Ponthieu. As curvas de correção de Apling são concordantes com os dados obtidos apenas para o CO, apresentando valores superiores na correção do HC. Portanto, os fatores de correção de CO obtidos coincidem com a bibliografia consultada, os de HC foram um pouco inferiores e os de NO_x coincidem apenas com os valores norte-americanos referentes aos veículos mais antigos.

CONCLUSÕES

Embora este trabalho ainda seja preliminar, dado o pequeno número de veículos ensaiados, pode-se observar claramente um aumento de cerca de 25% nas emissões de monóxido de carbono (CO) e 20% nas emissões de hidrocarbonetos (HC), bem como uma redução de 15% nas emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x). Visto que as concentrações de CO e HC na atmosfera da Região Metropolitana de São Paulo são bastante altas em relação aos padrões de qualidade do ar, um

agravamento das condições de tráfego, que venha a provocar uma redução sensível na velocidade média das viagens urbanas pode, realmente, vir a agravar ainda mais a qualidade do ar na cidade.

Além disso, foi verificado um aumento de 20% no consumo de combustível, o que resulta, sem dúvida, em um grande aumento do custo operacional dos veículos, que somados a uma perda de tempo adicional, um aumento da incidência de "stress" nos motoristas, e os danos ambientais, justificam uma grande concentração de esforços no gerenciamento de tráfego, criando ações que venham a melhorar a fluidez do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apling, A.J., "Current Understanding of the Technical Possibilities for Reducing Pollutant Emissions from Motor Cars", United Kingdom.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1981), NBR-6601, "Análise dos Gases de Escapamento de veículos Rodoviários Automotores Leves a Gasolina".

CETESB (1980), Projeto 10.4, Pesquisas da Velocidade Média, Relatório Interno, São Paulo.

_____ (1987), Qualidade do Ar na Região de São Paulo e Cubatão, São Paulo.

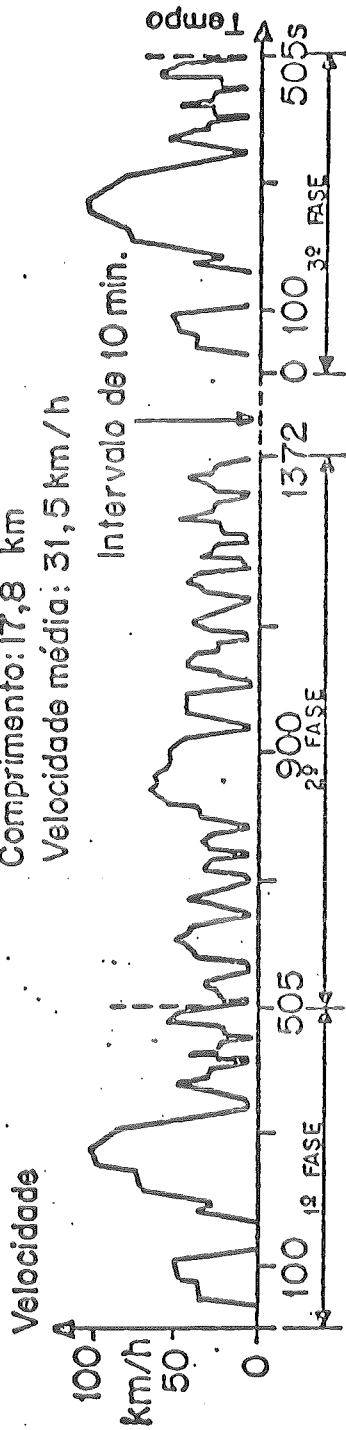
Murgel, E.M. et alli (1987), "Inventário de Emissão Veicular-Metodologia de Cálculo", Revista Engenharia Sanitária, ABES, Volume 26:3.

Ponthieu, J. (1986), "Influence de la Régulation du Trafic Urbain Sur les Émissions de Polluants d'Origine Automobile", Pollution Atmospherique número 109, Janvier-Mars.

U.S.Environmental Protection Agency (1985), Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume II: Mobile Sources, Fourth Edition.

CICLO URBANO (NBR 6601)

Comprimento: 17,8 km
 Velocidade média: 31,5 km/h



CICLO URBANO MODIFICADO - Congestionamento

Comprimento 17,8 km
 Velocidade média 19 km/h

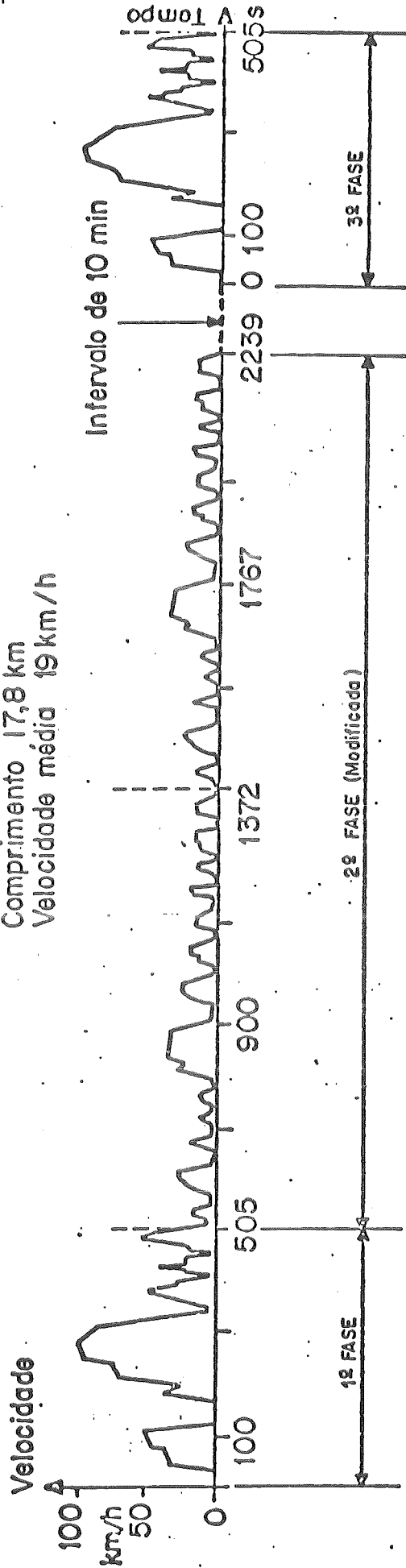


Figura 1 - Ciclos Urbano e Congestionamento

Data Angkut:	7/5/93
Indic:	Memo 14/93 DEN 20/4/93
Uraian:	
Preco:	4.5
Data Tomba:	7/5/93