

# Emissão de gases poluentes por veículos leves a gasolina na atmosfera de Belo Horizonte

## **Elisete Gomides Dutra**

Pesquisadora – Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais - FEAM.

## **Ramon Molina Valle**

Professor Adjunto – Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG.

## **Bernadete Carvalho Gomes**

Gerente de Meio Ambiente – Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Saneamento - SMMAS/PBH.

## **Edwan Fernandes Fioravante**

Analista de Ciência e Tecnologia – Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais - FEAM.

## **Leonardo Gomides Dutra**

Bolsista de Iniciação Científica – Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG.

## **Resumo**

*Apresentam-se os resultados parciais obtidos a partir da realização de inspeções das emissões de poluentes atmosféricos por veículos automotores leves a gasolina da frota de Belo Horizonte. As medições foram realizadas em caráter educativo e informativo dentro do escopo do Projeto de Pesquisa “Inspeção Veicular: Capacitação e Avaliação Inicial” viabilizado pelo Termo de Cooperação Técnica firmado entre: Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM/MG, Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG e Prefeitura de Belo Horizonte através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Saneamento - SMMAS e da BHTRANS. São apresentadas as médias das emissões e as porcentagens de reprovação por poluente, por faixas de ano de fabricação dos veículos definidas em função das metas de redução das emissões dos veículos novos estabelecidas pelo PROCONVE. Os resultados das inspeções de 272 veículos leves a gasolina indicam uma tendência de maior variabilidade dos dados obtidos para os veículos mais novos.*

## **Abstract**

*This paper presents the results obtained in the inspection of pollutants emissions by automobiles (gasoline) of Belo Horizonte, Minas Gerais State, Brazil. These inspections correspond the activities of the Research Project “Automobile Inspection: Learning and Initial Evaluation” developed by Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais and Belo Horizonte City Hall. The average of the emissions and the percentages of reproof of each pollutant are presented according to the vehicle classification into groups divided by year of fabrication. These groups were defined according to the goal of reduction of pollution by pollutants emissions by new vehicle, defined by PROCONVE. The results of inspections of 272 light gasoline vehicles indicate that newer vehicles would tend to show more variability of dice.*

**Subtemas:** Inspeção veicular; Emissões de poluentes.

## **Introdução**

Belo Horizonte por ser um centro urbano com característica, predominantemente, de prestador de serviços, tendo, em segundo plano, o comércio além de alguns empreendimentos industriais pontualmente localizados, tem como principal fonte de poluição da qualidade do ar a frota de veículos automotores em circulação.

Os poluentes emitidos pelo tubo de escapamento dos veículos são constituídos pelos produtos gerados durante reação de combustão incompleta que ocorre no motor. Na queima de gasolina nos motores ciclo Otto, os gases de exaustão são constituídos basicamente por monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC). Estes poluentes, em

contato com sistemas respiratórios, podem produzir vários efeitos negativos sobre a saúde das pessoas, principalmente em crianças e idosos.

O rápido crescimento da frota como consequência do aumento da população, a ineficiência dos transportes coletivos e a inadequação dos sistemas viários para atendimento das demandas de trânsito e transporte vem causando um contínuo processo de saturação das vias de trânsito dos centros urbanos. Nestas vias, o aumento da emissão de gases poluentes causados pela manutenção inadequada dos motores e pela deterioração e adulteração dos sistemas de escapamento dos veículos é agravado pela diminuição da velocidade média dos veículos acarretando, muitas vezes, níveis de poluição superiores aos padrões aceitáveis.

Com o objetivo de reduzir as emissões dos veículos automotores e incentivar o desenvolvimento tecnológico na área automotiva o Governo Federal, através da Resolução do CONAMA Nº 18 de 1986, instituiu o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE. A atuação do PROCONVE foi direcionada ao controle das emissões dos veículos novos e daqueles em circulação. Para os veículos novos o Programa estabeleceu cronograma de redução gradativa dos principais poluentes. Com a adoção dessa medida, os fabricantes passaram a produzir veículos menos poluentes.

A atuação junto aos fabricantes contribuiu para impedir que o crescimento da frota fosse acompanhado por um aumento proporcional de poluição atmosférica, consequentemente, os veículos usados surgiram como principais responsáveis pela poluição atmosférica no ambiente urbano. Parte dos veículos em circulação foram fabricados antes da implantação das metas do PROCONVE e mesmo os fabricados posteriormente necessitam de manutenção técnica adequada para garantir a durabilidade das emissões homologadas.

Para que os limites estabelecidos para veículos novos sejam mantidos após comercialização o PROCONVE estabeleceu a implantação em todo território nacional, com prioridade para as regiões com maior comprometimento da qualidade ar, dos Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – Programas de I/M vinculados ao licenciamento anual dos veículos.

Os Programas de I/M regulamentados pela Resolução CONAMA Nº 7/1993, contemplam, para veículos leves do ciclo Otto, a medição das emissões dos gases poluentes: monóxido de carbono e de hidrocarbonetos e sua comparação com os limites máximos pré-estabelecidos em função do ano de fabricação de cada veículo. A Resolução estabelece ainda que os Programas de I/M devem ser instituídos pelos órgãos ambientais dos estados e municípios.

Para obter capacitação técnica para atender ao estabelecido pelo CONAMA, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais, através da FEAM, e a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Saneamento da PBH, órgãos ambientais estadual e municipal responsáveis para implementação e gerenciamento do Programa I/M no estado e município, respectivamente, procuraram a parceria da BHTRANS e do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG.

O entendimento dos profissionais das quatro instituições citadas culminou na assinatura do Termo de Cooperação Técnica que viabilizou o desenvolvimento do Projeto de Pesquisa “Inspeção Veicular: Capacitação e Avaliação Inicial” cujos resultados parciais são apresentados neste documento.

Considerando que os veículos leves a gasolina têm um efeito significativo sobre a matriz energética e que, particularmente nos grandes centros urbanos, são os principais responsáveis pela poluição do ar por monóxido de carbono e hidrocarbonetos, apresenta-se, neste trabalho, a análise das emissões por faixas de ano de fabricação desses veículos da frota de Belo Horizonte.

## **Objetivos**

Apresentar os resultados parciais do Projeto Inspeção Veicular: Capacitação e Avaliação Inicial que tem por finalidade definir os procedimentos e sistematizar a execução dos testes, bem como, estabelecer metodologia de análise dos resultados das medições das emissões de poluentes atmosféricos por veículos automotores. Durante a

realização dos trabalhos de campo procura-se ainda dar oportunidade de conscientização por parte da população da necessidade e dos benefícios da adequada manutenção de seus veículos.

### Metodologia para realização da inspeção de emissões

As inspeções das emissões são realizadas de forma educativa e não punitiva a partir do Projeto Inspeção Veicular: Capacitação e Avaliação Inicial, ainda em desenvolvimento pelas instituições: Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG, e Prefeitura de Belo Horizonte, através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Saneamento e da BHTRANS.

Foram adquiridas duas unidades de cada um dos analisadores dos gases poluentes monóxido de carbono e hidrocarbonetos, acompanhados do software de registro de dados e avaliação dos resultados, disponíveis no mercado. Os analisadores, assim como os computadores e os equipamentos acessórios, foram montados em um rack e na parte traseira de um veículo tipo furgão constituindo em duas unidades de medições independentes, sendo uma “Fixa” e a outra “Móvel”.

A Unidade Fixa é utilizada para realização de inspeções no Laboratório de Motores do Departamento de Engenharia Mecânica no Campus da UFMG e a Unidade Móvel possibilita a realização de inspeções em diferentes locais distribuídos nas regiões administrativas de Belo Horizonte. Na Unidade Móvel foram instaladas duas baterias elétricas que, carregadas durante a noite, permitem autonomia de alimentação de energia para funcionamento do sistema de medição durante o dia. As duas unidades de inspeção de emissões veiculares são mostradas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.



Figura 1 - Fotos da Unidade Móvel de inspeção de emissões veiculares



Figura 2 – Foto dos equipamentos de inspeção de emissões veiculares da Unidade Fixa

As inspeções das emissões, no âmbito do Projeto, são realizadas de forma voluntária, gratuita e não punitiva. Para inspeções na Unidade Fixa os condutores são convidados a levarem seus veículos ao Laboratório de Motores no Campus da UFMG, enquanto que com a Unidade Móvel os veículos para serem inspecionados são abordados nas vias e praças públicas.

Previamente à inspeção, a documentação do veículo é solicitada para identificação e registro das informações: ano de fabricação, ano-modelo, quilometragem rodada, tipo de combustível ou de combustíveis. No caso dos veículos bi-combustíveis essa opção é também registrada, sendo que o programa solicita duas medições consecutivas, uma para cada combustível.

Em seguida faz-se uma inspeção visual onde se verifica a condição do sistema de escapamento do veículo. Se for verificado qualquer um dos itens: emissão de fumaça visivelmente branca, vazamentos de óleo e avarias no cano de descarga o veículo é reprovado e a inspeção interrompida.

Para os veículos aprovados na inspeção visual a sonda de medição da temperatura do motor é substituída pela vareta de verificação do nível de óleo e o medidor de rotação – do tipo “universal” ou “por indução” – é utilizado para medição da velocidade angular. Antes da medição dos gases de escapamento é feita a descontaminação do óleo do carter mediante aceleração com veículo parado, em velocidade angular constante de aproximadamente 2500rpm, sem carga e sem uso de afogador, durante 30 segundos. Após a descontaminação a sonda de captação dos gases é introduzida no cano de descarga e realizam-se as medições dos níveis de concentração de CO e HC e de diluição dos gases a 2500rpm  $\pm$  200rpm e em marcha lenta na temperatura normal de trabalho do motor.

Os resultados obtidos são comparados com os limites máximos de emissão de poluentes estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 7 de 1993 e dessa forma os veículos são aprovados ou reprovados. A Resolução estabelece ainda como condição para aprovação na inspeção uma diluição mínima (CO+CO<sub>2</sub>) de 6% nos gases de escapamento. Se os valores medidos de CO e HC não atenderem aos limites máximos estabelecidos é realizada uma segunda descontaminação nas mesmas condições da primeira, mas por um período de tempo maior que é de 180 segundos, e novas medições de CO, HC e diluição são realizadas. Os limites máximos de emissão de CO e HC para fins de inspeção de veículos em circulação, em função do ano modelo de fabricação, são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Limites máximos de emissão de CO e HC para fins de inspeção de veículos leves a gasolina em circulação <sup>(1)</sup>

	Monóxido de carbono (CO) Marcha Lenta e a 2500rpm	Hidrocarbonetos (HC) Marcha Lenta e a 2500rpm
Ano/modelo	Limites (%vol)	Gasolina
Até 1979	6,0	700 ppm
1980-1988	5,0	
1989	4,0	
1990-1991	3,5	
1992-1996	3,0	
1997-2003	1,0	

(1) Resolução CONAMA 07/1993

Ao final da inspeção os condutores dos veículos recebem o Relatório de Inspeção constando o resultado: APROVADO OU REPROVADO, e os níveis de emissão medidos para cada poluente analisado. Os veículos aprovados têm ainda o selo verde fixado do lado direito do pára-brisas dianteiro contendo os seguintes dizeres: “*Eu colaboro com a qualidade do ar da minha cidade*”.

### Metodologia de análise dos resultados

Para a análise dos resultados das inspeções de emissões de CO e HC, em função do ano e modelo, os veículos foram agrupados de forma a atender aos limites máximos de emissão dos veículos novos. Dessa forma procurou-se evitar uma comparação de resultados de emissões de veículos fabricados em condições de desenvolvimento tecnológico

muito diferenciadas. O Quadro 2 apresenta os limites máximos de emissão de CO e HC estabelecidos pelo PROCONVE para fins de homologação dos veículos leves a gasolina.

Quadro 2 - Limites máximos de emissão de CO e HC para veículos leves novos a gasolina

Ano-modelo	CO		HC (g/km)
	(g/km)	(% em vol em ML)	
Até 1979	---	---	---
1980 - 1988			
1989	24,0	3,0	2,1
1990 - 1991			
1992 - 1996	24,0 (ND)	3,0 (ND)	2,1(ND)
	12,0 (D)	2,5 (D)	1,2(D)
1997 - 2003	2,0	0,5	0,3

Fonte: Resolução CONAMA 18/1986

Nota: ML- marcha lenta; ND- não derivado de automóveis; D- derivado de automóveis

O primeiro grupo é formado pelos veículos fabricados até 1988 quando, até então, não havia qualquer exigência de controle das emissões de CO e HC. Os demais grupos, que contemplam os veículos fabricados nos períodos de 1989 a 1991, 1992 a 1996 e 1997 a 2003, foram agrupados considerando, para cada grupo, o mesmo limite máximo de emissão, ou seja, uma mesma fase de desenvolvimento tecnológico.

Para definição da amostra representativa dos veículos a gasolina da frota de Belo Horizonte seria necessário obter o número de veículos licenciados por ano de fabricação até 2003. Em setembro de 2001 o DETRAN/MG, por solicitação da FEAM, disponibilizou planilha de dados de caracterização da frota de veículos automotores de Minas Gerais por município, por ano-modelo, por combustível e por categoria de uso.

Como não foi possível obter junto ao DETRAN/MG informações mais atualizadas, foi necessário utilizar a Técnica de Alisamento Exponencial Duplo de Holt para estimar o número de veículos licenciados em Belo Horizonte no período de 1997 a 2003. Somando-se os veículos estimados para este grupo com os veículos dos outros grupos conforme fornecido pelo DETRAN em setembro de 2001, chegou-se a uma frota total de 661.203 veículos, conforme mostrado no Tabela 1.

Tabela 1 – Estimativa da frota de veículos leves a gasolina de Belo Horizonte para 2003

Ano modelo	Valor estimado
Até 1988	112.943 <sup>(1)</sup>
1989 - 1991	36.221 <sup>(1)</sup>
1992 - 1996	158.973 <sup>(1)</sup>
1997 - 2003	353.066 <sup>(2)</sup>
TOTAL	661.203

<sup>(1)</sup> Dados fornecidos pelo DETRAN/MG em setembro de 2001

<sup>(2)</sup> Valor estimado pela Técnica de Alisamento Exponencial Duplo de Holt

O tamanho da amostra para cada grupo de veículos foi definido através do Método de Amostragem Aleatória Simples, considerando distribuição normal com nível de confiança de 95% e erro de estimação “d”. O tamanho da amostra foi calculado pela equação:

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)(\frac{d}{1,96})^2 + \sigma^2}$$

Onde “n” é o tamanho da amostra, “N” é o número total de veículos leves a gasolina, “ $\sigma$ ” é o desvio padrão populacional e “d” o erro de estimação (MINGOTI, 2004).

A partir da análise das médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos resultados parciais das medições de CO e HC para cada grupo de veículos, definiu-se um erro de estimação “d”, correspondendo a 25% dos limites de emissão para cada faixa de ano de fabricação. Considerou-se neste caso que o parâmetro de medição (CO ou HC) na condição de teste (2500rpm ou Marcha Lenta) com maior coeficiente de variação é o que define o tamanho da amostra em cada grupo. A Tabela 2 apresenta a composição da amostra por faixa de ano de fabricação e o número de veículos de cada faixa que foram inspecionados até março de 2004, cujos resultados são apresentados e analisados neste documento.

Tabela 2 – Tamanho amostral e veículos inspecionados até março de 2004

Ano de Fabricação	Tamanho amostral calculado	Total de Veículos inspecionados
Até 1988	296	18
1989 - 1991	76	12
1992 - 1996	50	67
1997 - 2003	90	175
TOTAL	512	272

Como a meta do número mínimo de veículos inspecionados, por faixa de ano de fabricação, ainda não tinha sido atingida até março de 2004, a análise dos dados aqui apresentados não é conclusiva, indicando apenas tendências.

### Resultados da análise

O gráfico da Figura 3 mostra a porcentagem de veículos reprovados nas inspeções de emissões de CO, HC e diluição, em função do ano de fabricação. Verifica-se claramente um aumento no número de veículos reprovados com o aumento da idade, especialmente para os veículos fabricados até 1991. Observa-se que o lote de veículos analisados até 1988 apresentou menor porcentagem de reprovação que o lote de 1989 a 1991. Isto pode estar ocorrendo porque o número de veículos inspecionados (18) é ainda muito pequeno comparado com o tamanho amostral (296), como indicado na Tabela 2.

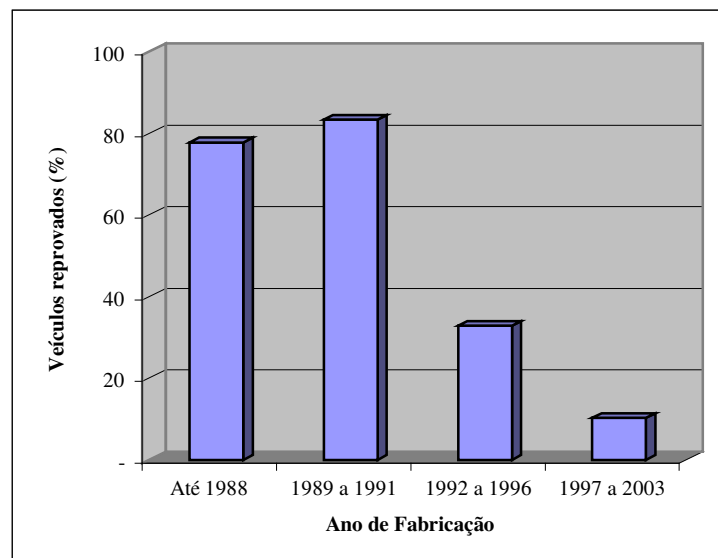


Figura 3 – Porcentagem geral de veículos reprovados nas inspeções de emissões de poluentes em função do ano de fabricação

O gráfico da Figura 4 apresenta a porcentagem de veículos reprovados por emissão de CO e HC, em marcha lenta e a 2500 rpm, para os grupos definidos em função das faixas de ano de fabricação dos veículos.

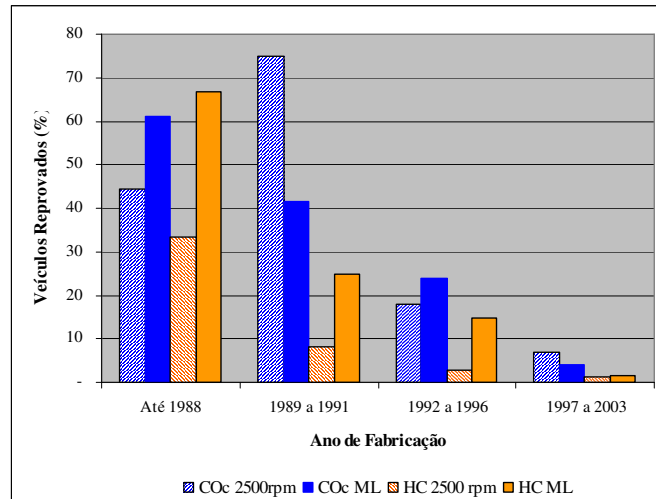


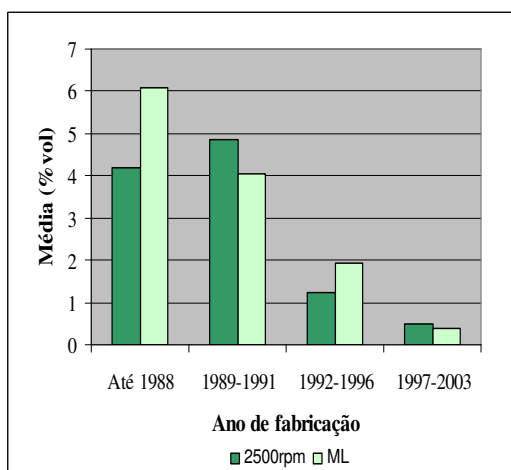
Figura 4 - Percentagem de veículos aprovados por emissão de CO e de HC a 2500rpm e em marcha lenta (ML)

A avaliação dos poluentes e condições de teste, responsáveis pela reprovação para cada grupo de veículos, mostra que para os veículos fabricados até 1988 ocorreu uma maior percentagem de reprovação para hidrocarbonetos em marcha lenta (aproximadamente 67%) seguida da percentagem de CO também em marcha lenta (aproximadamente 61%). Ainda para estes veículos verifica-se uma maior percentagem de reprovação para CO em marcha lenta quando comparada à percentagem de reprovação por CO na velocidade angular de 2500rpm.

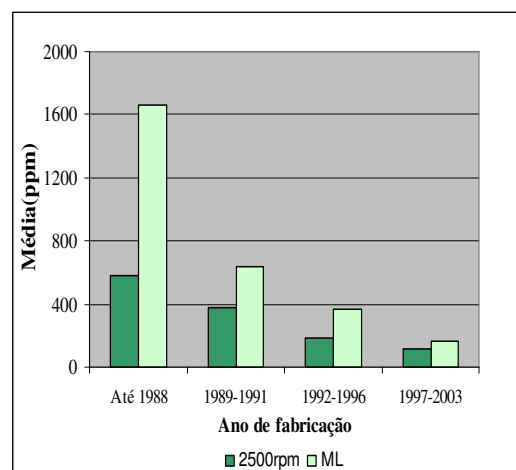
Para o segundo grupo de veículos, os fabricados no período de 1989 a 1991, a maior e expressiva percentagem de reprovação ocorreu para CO a 2500rpm seguida da percentagem para CO em marcha lenta. Cabe ressaltar que os resultados apresentados para os veículos mais antigos, fabricados até 1991, devem ser vistos neste momento mais como uma influência da composição amostral do que do ano de fabricação.

Com relação à reprovação por emissão de hidrocarbonetos, pode-se verificar uma maior percentagem de reprovação nas medições realizadas em marcha lenta para todos os grupos de veículos.

As médias dos níveis de emissão de CO medidos em velocidade angular de 2500rpm e em marcha lenta, em função do ano de fabricação dos veículos são apresentadas no gráfico da Figura 5(a). A avaliação para todo o período considerado, veículos fabricados até dezembro de 2003, indica uma tendência de redução dos níveis de emissão com a diminuição da idade dos veículos, tanto em marcha lenta quanto em 2500rpm.



(a)



(b)

Figura 5 – Média das emissões de Monóxido de Carbono em % volume (a) e Hidrocarbonetos em ppm (b) por faixa de ano de fabricação dos veículos a 2500rpm e marcha lenta (ML).

Para o grupo dos veículos fabricados até 1988 verifica-se uma maior emissão de monóxido de carbono em marcha lenta, com média de emissão de cerca de 6% em volume, quando comparado com 2500rpm, que apresenta média de cerca de 4% em volume, conforme pode ser visualizado na Figura 5(a). Para este grupo, o limite máximo de emissão de CO para fins de reprovação nas inspeções de veículos em uso é de 5% em volume.

A média de emissão de CO dos veículos fabricados de 1989 a 1991, conforme mostrado na Figura 5(a), é de cerca de 5% em volume a 2500rpm e de 4% em volume em marcha lenta. Para estes veículos as médias das emissões ultrapassam os limites máximos: 3,5% em volume para os fabricados em 1989 e 4% em volume para os fabricados em 1990 e 1991. As médias dos níveis de emissão de CO dos grupos de veículos fabricados de 1992 a 1996 e de 1997 a 2003 estão abaixo dos limites máximos estabelecidos pelo PROCONVE para estes veículos que correspondem a 3% em volume e 1% em volume, respectivamente.

As médias das emissões de hidrocarbonetos apresentadas na Figura 5(b) mostram uma tendência de redução dessas emissões com a diminuição da idade dos veículos em marcha lenta e a 2500rpm. As médias das emissões de HC em marcha lenta se apresentam mais altas que a 2500rpm, para todos os grupos. O grupo dos veículos mais antigos, fabricados até 1988 apresentou uma média de emissão em marcha lenta superior a 1600ppm, valor muito acima do limite máximo permitido que é de 700ppm. Para todos os grupos de veículos analisados as médias de emissão de HC a 2500rpm tiveram valores inferiores a 700ppm, que é o limite único para todos os grupos.

Como as médias das emissões de CO e HC representam grandezas diferentes, a dispersão dos dados é melhor representada em termos relativos a seu valor médio através do coeficiente de variação que é definido como sendo o quociente entre o desvio padrão e a média. Os gráficos da Figura 6 apresentam a relação entre as médias e os coeficientes de variação para emissão de CO em marcha lenta e a 2500rpm. Pode-se verificar que o coeficiente de variação apresentou uma forte tendência de crescimento com a diminuição da idade dos veículos nos dois casos.

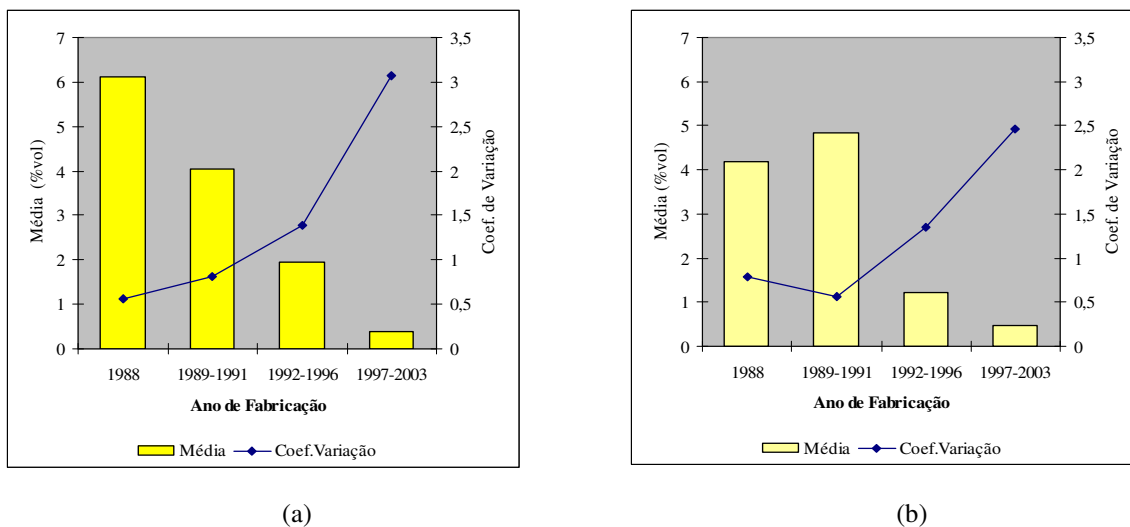


Figura 6 - Médias e coeficientes de variação da emissão de CO em marcha lenta (a) e a 2500rpm (b)

Os gráficos da Figura 7 mostram também uma tendência de crescimento dos coeficientes de variação para as médias de emissão de HC em marcha lenta e a 2500 rpm, porém menos acentuada quando comparados com os coeficientes para CO, mostrados na Figura 6.



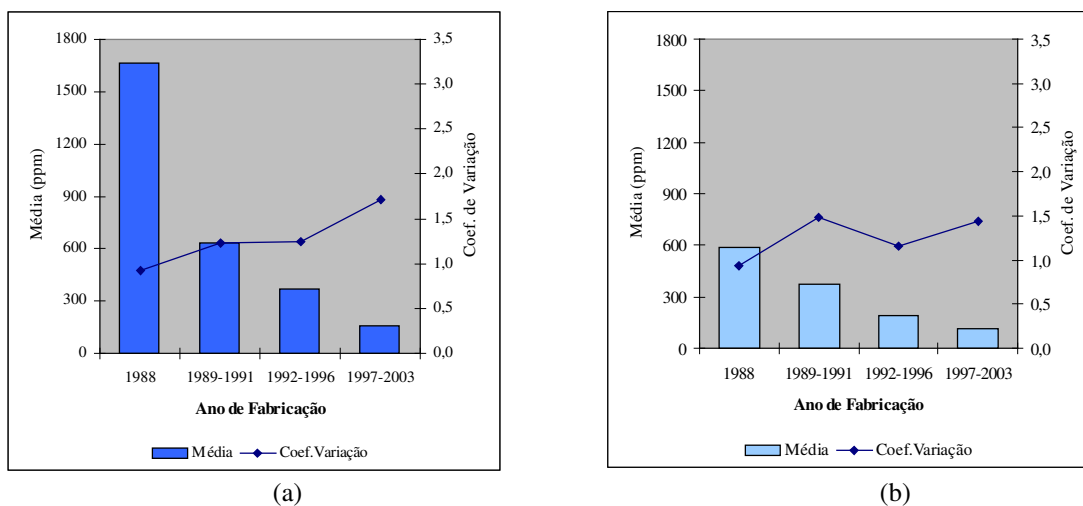


Figura 7 - Médias e coeficientes de variação da emissão de HC em marcha lenta (a) e a 2500rpm (b)

## Conclusão

Embora a amostra de veículos fabricados até de 1991 não seja ainda representativa, os resultados obtidos mostram tendências de comportamento que permitem desde já fazer uma análise do estado da frota de Belo Horizonte e ao mesmo tempo, através do trabalho de campo, prever os principais problemas técnicos e gerenciais da inspeção veicular no Brasil.

## Bibliografia

MINGOTI, S.A. et all. **Sampling**: um software na área de amostragem integrado ao software estatístico Minitab for Windows. Manual do Usuário. Disponível em <<http://www.est.ufmg.br>. Último acesso em: 12 nov. 2004.

DEGOBERT, P. Automobiles and Pollution. Editions Technip, Paris, 1995.

HEISLER, H. Advanced Engine technology. Society of Automotive Engineers, London, 1995.

CONAMA, Resolução N° 18 de 06 de maio de 1986, publicada em Diário Oficial em 17/06/1986.