



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DO AR
CONDICIONADO AUTOMOTIVO NAS EMISSÕES E NO
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS LEVES
CONSIDERANDO O CICLO URBANO (FTP-75)**

IOLANDA DE LOURDES GONÇALVES DIAS

Belo Horizonte, 23 de Fevereiro de 2017

Iolanda de Lourdes Gonçalves Dias

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DO AR
CONDICIONADO AUTOMOTIVO NAS EMISSÕES E NO
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS LEVES
CONSIDERANDO O CICLO URBANO (FTP-75)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Energia e
Sustentabilidade

Orientador: Prof. Dr. Ramon Molina Valle
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Universitário
 31270-901 - Belo Horizonte - MG
 Tel.: +55 31 3409.5145
 E-mail: cpgmec@demec.ufmg.br

**"ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DO AR
 CONDICIONADO AUTOMOTIVO NAS EMISSÕES E NO CONSUMO
 DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS LEVES CONSIDERANDO O
 CICLO URBANO (FTP-75)"**

IOLANDA DE LOURDES GONÇALVES DIAS

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "**Mestre em Engenharia Mecânica**", na área de concentração de "**Energia e Sustentabilidade**".

Dissertação aprovada no dia 23 de fevereiro de 2017.

Por:

Prof. Ramon Molina Valle
 Orientador - Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG

Prof. Fernando Antônio Rodrigues Filho
 Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Fabricio José Pacheco Pujatti
 Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG

Prof. José Guilherme Coelho Baeta
 Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG

D541a

Dias, Iolanda de Lourdes Gonçalves.

Análise experimental da influência do ar condicionado automotivo nas emissões e no consumo de combustível em veículos leves considerando o ciclo urbano (FTP-75) manuscrito] / Iolanda de Lourdes Gonçalves Dias.- 2017.

83 f., enc.: il.

Orientador: Ramon Molina Valle.

Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f. 80-83.

Bibliografia: f. 75-79.

1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Automóveis - Consumo de combustíveis - Teses. 3. Automóveis - Ar condicionado - Teses. I. Valle, Ramon Molina. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621(043)

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Ramon Molina, pelos ensinamentos, paciência, disponibilidade e principalmente por sempre me incentivar.

Aos amigos CIT SENAI FIEMG – Campus CETEC, em especial: Ao Diretor do Instituto SENAI de Tecnologia Automotiva, Pompilio Furtado, por ter cedido a estrutura do Laboratório de Emissões Veiculares para a realização dos ensaios e me emprestar seu próprio carro para os testes. Sempre me ensina, me orienta e nunca me deixa desistir; Ao Matheus Bolognani por ter tido a ideia de estudar a influência do ar condicionado automotivo após meu estudo anterior ter sido encerrado após defeitos de equipamentos. Além disso, pilotou todos os ensaios, mesmo quando isso acarretava cerca de 12 horas de trabalho diário, 7 dias por semana. À Luciene Ferreira, que me deu força e contribuiu com vários ensinamentos para a realização dos experimentos e escrita da dissertação.

Aos amigos da FCA, em especial ao Heyder Cardoso e Paulo Araújo, por ajudar com o meu trabalho.

Ao Lucas Leal, por acompanhar os ensaios deste trabalho, por todas as caronas durante este período, por segurar todas as pontas para mim enquanto eu estava ocupada, por ler todo meu trabalho, dar palpites. Obrigada por tudo que sempre faz por mim.

À minha família pela força, apoio e incentivo de sempre. Mamãe, que não está mais entre nós, mas sempre me incentivou muito nos estudos. Carol, sempre preocupada com o andamento da minha dissertação. Daddy, muito obrigada por tudo que fez por mim em minha vida. Tio Carlos, Tia Helena e Iara muito obrigada por tudo.

Aos meus colegas do PPGMEC, em especial Rodrigo Abdo e Laura Soares, que sempre me ajudaram nos momentos de aperto.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
SUMÁRIO	5
LISTA DE SÍMBOLOS	7
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE GRÁFICOS	11
LISTA DE TABELAS E QUADROS	12
LISTA DE ABREVIATURAS.....	13
RESUMO	15
ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivo do trabalho.....	19
1.2 Relevância do trabalho	19
1.3 Estrutura da dissertação.....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Conceitos e procedimentos fundamentais adotados nos testes.....	21
2.1.1 Programas nacionais de Controle de Emissões Veiculares e Consumo de Combustível	21
2.1.2 O Ensaio de Emissões Veiculares no Brasil.....	23
2.1.3 Etapas de ensaio de Emissões Veiculares no Brasil.....	24
2.1.4 Ciclos de Condução.....	28
2.1.5 Ar condicionado automotivo	42
2.1.6 Ensaio de Emissões Veiculares em veículos equipados com ar condicionado.....	45
2.1.7 Cálculo da Incerteza	46
2.2 Estado da Arte	47
3. METODOLOGIA	50
3.1 Sequência dos Ensaio	50
3.2 Combustíveis Utilizados	53
3.3 Parâmetros de coastdown.....	54
3.4 Equipamentos e Sistemas de Medição Utilizados	54
3.5 Piloto dos ensaios.....	55
3.6 Cálculos de emissões, consumo e incerteza da medição.....	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
4.1 Temperaturas Registradas durante os ensaios	56
4.2 Resultados de THC.....	59
4.3 Resultados de NOx.....	61

4.4	Resultados de CO.....	63
4.5	Resultados de CO ₂ e consumo de combustível	66
4.6	Considerações finais.....	70
5.	CONCLUSÕES.....	72
6.	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	ANEXO 2 – CERTIFICADO DA PROVETA USADA NOS TESTE DE TEOR ALCOOLICO	81
	ANEXO 3 – GASES DE CALIBRAÇÃO UTILIZADOS.....	82

LISTA DE SÍMBOLOS

$\%V_{\text{ETOH}}$	Porcentagem, em volume a 20°C, de etanol no combustível utilizado, descontada a porcentagem de água
$\%V_{\text{gás}}$	Porcentagem, em volume a 20°C, de gasolina no combustível utilizado
A_{est}	Autonomia do ciclo urbano calculada conforme ABNT NBR 7024
$A_{\text{est}}^{\text{corr}}$	Autonomia do ciclo estrada corrigida;
A_{urb}	Autonomia do ciclo urbano calculada conforme ABNT NBR 7024;
$A_{\text{urb}}^{\text{corr}}$	Autonomia do ciclo urbano corrigida;
CH_{4M}	Cálculo das emissões em gramas de CH ₄
CO_{2M}	Massa de CO ₂
CO_M	Cálculo das emissões em gramas de CO
M_1	Inércia equivalente do veículo
M_R	Massa equivalente à inércia de rotação
$NMHC_M$	Cálculo das emissões em gramas de NMHC
NO_{xM}	Cálculo das emissões em gramas de NO _x
d_{CH_4}	Densidade de massa dos hidrocarbonetos
f_0	Coeficiente de força resistiva de ordem-zero
f_1	Coeficiente de força resistiva de ordem um
f_2	Coeficiente de força resistiva de segunda ordem
$\bar{q}$	Média aritmética
Δt	Tempo de desaceleração no período considerado
ΔV	Variação da velocidade no período considerado
A	Autonomia do veículo
C	Consumo de combustível do veículo
CH_{4d}	Concentração de CH ₄ medida no balão de amostragem do ar de diluição
CH_{4e}	Concentração de CH ₄ medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído
CO_{2d}	Concentração de CO ₂ medida no balão de amostragem do ar de diluição, expressa em porcentagem (%).

CO _{2e}	Concentração de CO ₂ medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído
CO _{2e}	Concentração de CO ₂ medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído
CO _{2ES}	Porcentagem teórica de CO ₂ no gás resultante de uma combustão em condições estequiométricas.
CO _d	Concentração de CO medida no balão de amostragem do ar de diluição
CO _e	Concentração de CO medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído
CO _e	Concentração de CO medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído
d _{CO}	Densidade de massa de dióxido de carbono
d _{CO2}	Densidade de massa de dióxido de carbono
D _E	Distância percorrida pelo veículo, medida durante a fase estabilizada
d _{NOx}	Densidade de massa dos óxidos de Nitrogênio
D _{TF}	Distância percorrida pelo veículo, medida durante a fase transitória com partida a frio
d _{THC}	Densidade de massa dos hidrocarboneto
D _{TQ}	Distância percorrida pelo veículo, medida durante a fase transitória com partida a quente
F	Força resistiva
F ₀	Coeficiente de força resistiva de ordem um no dinamômetro
F ₁	Coeficiente de força resistiva de ordem-zero no dinamômetro
F ₂	Coeficiente de força resistiva de segunda ordem no dinamômetro
F _U	Fator de correção de umidade
HC _e	Concentração de THC medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído
K	Fator multiplicador para cálculo da incerteza expandida
m _{CO}	Massa de CO emitida
m _{CO2}	Massa de CO ₂ emitida
m _{THC}	Massa de THC emitida

NOx_d	Concentração de NOx medida no balão de amostragem do ar de diluição
NOx_e	Concentração de NOx medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído
RD	Razão de Diluição
$S(\bar{q})$	Desvio padrão experimental da média
THC_d	Concentração de THC medida no balão de amostragem do ar de diluição
THC_e	Concentração de THC medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído, expressa em partes por milhão de carbono (ppmC);
V	Velocidade de referência para regulação do dinamômetro de chassis
V_{ed}	Volume de gás amostrado na entrada do CVS
V_{fa}	volume final da fase aquosa em mililitros
Y_E	Emissão em massa de cada componente do gás emitido na fase estabilizada
Y_{MP}	Emissão ponderada de cada componente do gás emitido
Y_{TF}	Emissão em massa de cada componente do gás emitido na fase transitória com partida a frio
Y_{TQ}	Emissão em massa de cada componente do gás emitido na fase transitória com partida a quente

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2. 1 – Ensaio Ciclo Urbano.	29
FIGURA 2. 2 – Ciclo de condução Estrada.	30
FIGURA 2. 3 – Sequência de ensaios para medição o consumo de combustível.....	31
FIGURA 2. 4 – Ciclo complementar US06.	32
FIGURA 2. 5 – Ciclo complementar SC03.	32
FIGURA 2. 6 – Configuração básica do sistema CVS.	34
FIGURA 2. 7 – Bocal Sônico.	35
FIGURA 2. 8 – Esquema do ciclo termodinâmico do ar condicionado.	43
FIGURA 3.1 – Amostra 1.....	50
FIGURA 3.2 – Amostra 2.....	50
FIGURA 3.3 – Sequência realizada até início das propostas.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 4. 1 – Resultados de THC – Amostra 1	60
GRÁFICO 4. 2 – Resultados de THC – Amostra 2 – Gasool A22.....	60
GRÁFICO 4. 3 – Resultados de THC – Amostra 2 – EHR	60
GRÁFICO 4. 4 - Resultados de NOx – Amostra 1	62
GRÁFICO 4. 5 - Resultados de NOx – Amostra 2 – Gasool A22.....	62
GRÁFICO 4. 6 - Resultados de NOx – Amostra 2 – EHR.....	62
GRÁFICO 4. 7 - Resultados de CO – Amostra 1	64
GRÁFICO 4. 8 - Resultados de CO – Amostra 2 – Gasool A22.....	64
GRÁFICO 4. 9 - Resultados de CO – Amostra 2 – EHR.....	65
GRÁFICO 4. 10 - Aumento percentual no consumo de combustível, em relação à proposta inicial (P0 ou P0')	68

LISTA DE TABELAS

QUADRO 2. 1 – Fases do PROCONVE	21
QUADRO 2. 2 – Limites das fases L-5 e L-6 do PROCONVE	22
QUADRO 2.3 – Gases, formação e efeitos nocivos	36
QUADRO 4. 1 – Temperatura média do laboratório e temperatura no interior do veículo durante ensaios com ar condicionado automotivo ligado da amostra 1 – Proposta P1.....	57
QUADRO 4. 2 – Temperatura média do laboratório e temperatura no interior do veículo durante ensaios com ar condicionado automotivo ligado da amostra 1 – Proposta P3.....	57
QUADRO 4. 3 – Temperatura média do laboratório e temperatura no interior do veículo durante ensaios com ar condicionado automotivo ligado da amostra 2 – Proposta P1.....	57
QUADRO 4. 4 – Temperatura média do laboratório e temperatura no interior do veículo durante ensaios com ar condicionado automotivo ligado da amostra 2 – Proposta P3.....	58
QUADRO 4. 5 – Temperatura média do laboratório e temperatura no interior do veículo durante ensaios com ar condicionado automotivo ligado da amostra 2 – Proposta P1'	58
QUADRO 4. 6 – Temperatura no interior do veículo durante ensaios da amostra 2 (EHR)	
TABELA 4. 1 – Resultados de THC.....	59
TABELA 4. 2– Resultados de NOx.....	61
TABELA 4 .3 - Resultados de CO.....	63
TABELA 4. 4 – Resultados de CO ₂	66
TABELA 4. 5 – Resultados de Consumo de Combustível	67

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADAC	Clube automotivo <i>Allgemeiner Deutscher</i>
AVC	Amostrador de volume constante
CETESB	Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo
CH ₄	Metano
CHO	Aldeídos
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás
CVS	Do inglês, <i>Constant Volume Sample</i> . Em português, a sigla é AVC.
DEMEC	Departamento de Engenharia Mecânica
EAR	Etanol anidro de referência
EHR	Etanol Hidratado de referência
ENQ	Etanol Não Queimado
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i> , Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos
FID	<i>Flame ionization detection</i> , detector por ionização de chama
FTP	<i>Federal Test Procedure</i>
GASOOL AX	Mistura de gasolina com etanol Anidro, onde X indica o percentual de etanol Anidro.
GEE	Gás de Efeito Estufa
GNV	Gás Natural Veicular
HWFET	Do inglês <i>Highway Fuel Economy Test</i> , no Brasil conhecido com ciclo estrada
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INOVAR-AUTO	Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores

IPI	Imposto Sobre Produtos Industrializados
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MNHC	Hidrocarbonetos não metano
NEDC	<i>New European Drive Cycle</i>
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
PBEV	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
PPGMEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
PROCONVE	Programa De Controle De Poluição Do Ar Por Veículos Automotores
PROMOT	Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares
SHED	<i>Sealed Housing for Evaporative Determination</i>
THC	Hidrocarbonetos Totais
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
WLTP	<i>WorldWide Harmonized Light Vehicle Test Procedure</i>

RESUMO

O ar condicionado automotivo é o acessório responsável pelo maior aumento do consumo de combustível em um automóvel e, conseqüentemente, pelo maior aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera. Devido a um maior consumo de combustível em veículos com ar condicionado ligado, a norma ABNT NBR 6601 passou a considerar que quando mais de 33% dos veículos de mesma marca, modelo, motor e transmissão sejam equipados com condicionador de ar originalmente na linha de produção, os coeficientes da equação de força resistiva devem ser acrescidos de 10%. Com base nesse fato, o objetivo deste trabalho é verificar e comparar o comportamento em emissão de poluentes e consumo de combustível de dois veículos equipados com ar condicionado através de testes em laboratório, considerando o ciclo urbano em três condições diferentes: sem e com acréscimo de 10% nos coeficientes de forças resistivas com o ar condicionado do automóvel desligado e sem acréscimo de 10% nos coeficientes de força resistiva com o ar condicionado do veículo ligado. Os resultados mostram que os valores de emissões de NO_x e CO com ar condicionado automotivo ligado não ultrapassam os limites da fase L-6 do PROCONVE. Por outro lado, o consumo de combustível sofreu um aumento de 15% a 19% nos ensaios com ar condicionado automotivo ligado na velocidade máxima do ventilador, enquanto que nos ensaios com acréscimo de 10% nas forças resistivas o aumento do consumo de combustível foi da ordem de 3%. Com os resultados obtidos, é possível verificar que a tentativa da norma ABNT NBR 6601 de considerar a influência do ar condicionado no ciclo urbano de condução ainda não é suficiente para garantir valores de consumo de combustível próximos do real impacto da utilização destes equipamentos em veículos.

Palavras Chaves: *(Emissões Veiculares, Consumo de Combustível, Ar condicionado Automotivo)*

ABSTRACT

Automotive air conditioning is the accessory that accounts for the largest increase in fuel consumption in a car consequently, the greatest increase in CO₂ emissions into the atmosphere. The difference between fuel consumption values obtained in Emission Laboratories and real world conditions is increasing and one of the factors that justify is the growth of the sales of vehicles equipped with air conditioning. In Brazil, the emissions tests are performed with the air conditioning off. Due to higher fuel consumption in vehicles with air conditioning turned on, the test procedure described in ABNT NBR 6601 has considered that when more than 33% of vehicles of the same brand, model, engine and transmission that are originally equipped with air conditioning the coefficients of the resistive force equation must be increased by 10%. The objective of this work was to verify the behavior of the fuel consumption of two vehicles equipped with AC through laboratory tests, considering FTP-75 in three different conditions, to evaluate if the increase of 10% is a good estimation of the air conditioning turned on. The increase in fuel consumption was 15% to 19% with the air conditioning turned on, against only 3% for tests with an increase of 10% on the coefficients of the equation of resistive forces. The results show that the NO_x and CO emissions values with automotive air conditioning on do not exceed the limits of PROCONVE's L-6 phase. With the results obtained, it can be verified that the attempt of ABNT NBR 6601 to consider an influence of the air conditioning in the FTP-75 cycle is not enough to guarantee fuel consumption values close to the real impact of the equipment on the cars tested in this work.

Key words: *(Vehicle Emissions, Fuel consumption, Automotive Air Conditioning.*

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento do número de produção e venda de veículos automotores, vivenciado nos últimos anos, têm gerado engarrafamentos nos centros urbanos, aumento da poluição sonora e da poluição atmosférica. Os gases emitidos na combustão de veículos intensificam o efeito estufa, o que contribui para o aquecimento global e causam danos à saúde humana (IBAMA)¹.

Visando reduzir a poluição causada por veículos automotores no Brasil criou-se, em 1986, o PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) que cria limites de emissões de gases de escapamento. Esses limites sofrem reduções graduais previstas no programa. Os veículos são testados em três momentos: Durante o processo de desenvolvimento, na sua homologação para liberação das vendas e no controle das emissões dos veículos já produzidos. Esses ensaios são realizados em dinamômetro de chassis com bancada de analisadores de gases e o procedimento está descrito na ABNT NBR 6601. Para veículos leves à gasolina, etanol ou mistura desses, existem limites de emissões para monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não metano (NMHC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e aldeídos (CHO). O etanol não queimado (ENQ), hidrocarbonetos totais (THC), metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), são medidos. O CH₄ e o CO₂ são considerados gases de efeito estufa (GEE).

Embora não exista limite para a emissão de CO₂, há uma preocupação em reduzi-lo, uma vez que este gás é contribuinte do efeito estufa. A partir disto, criou-se o programa INOVAR - AUTO (Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores), que prevê incentivos fiscais para as montadoras que reduzirem o consumo de combustível de seus veículos.

Entre os gases de escapamento analisados em um ensaio de emissões, o composto mais abundante é o CO₂. O CO₂ é o produto da combustão completa de compostos orgânicos, tais como gasolina, etanol e diesel. O ar condicionado automotivo é o acessório do veículo que mais aumenta o consumo de combustível

¹ https://www.ibama.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=720&Itemid=602

(BARBUSSE; CLODIC; ROUMÉGOUX, 1998) e consequentemente o que mais aumenta a emissão de CO₂.

Devido a um maior consumo de combustível em veículos com ar condicionado, em 2008 nos Estados Unidos foi adicionado aos testes de emissões veiculares o ciclo complementar SC03, que é realizado com o ar condicionado do veículo ligado e a temperatura ambiente do laboratório é mantida em 35°C. Na Europa, o ensaio de emissões veiculares não prevê especificidades para veículos equipados com ar condicionado. Em todos os ensaios esse acessório é mantido desligado. Existem na Europa projetos para um ciclo adicional que incluiu testes com o ar condicionado do veículo ligado. No entanto, não existe data exata para esse novo procedimento entrar em vigor (MOCK; GERMAN. 2015). No Brasil, adicionou-se à ABNT NBR 6001:2012, a principal norma de ensaios de emissões no país, um novo item no procedimento:

“Quando for esperado que mais de 33% dos veículos de mesma marca, modelo, motor e transmissão sejam equipados com condicionador de ar originalmente na linha de produção, devem ser acrescidos 10% nos coeficientes da equação de força resistiva, que gere um aumento de potência resistiva no máximo de 1,0 kW no ponto equivalente à velocidade de 80,5 km/h”.

Essa definição foi reafirmada na Portaria n. ° 522, de 31 de outubro de 2013 do INMETRO.

Segundo MOCK *et al.* (2012) A diferença entre valores de consumo obtidos em Laboratórios de Emissões está se distanciando cada vez mais dos valores encontrados quando os veículos trafegam em condições reais, passando de 8% em 2001 para 21% em 2012. Um dos fatores que justificam o aumento dessa diferença é o crescimento de vendas de veículos equipados com ar condicionado (MOCK *et al.*, 2014). O aumento dessa diferença prejudica o consumidor, que adquire um veículo que consome mais combustível do que o esperado. Além disso, provoca um lançamento de poluentes na atmosfera maior do que o esperado, prejudicando a sociedade e dificultando o controle da poluição por órgãos regulamentares e prejudica o meio

ambiente como um todo. Nesse sentido, é importante que os ensaios de emissões veiculares em Laboratório estejam mais próximos da realidade.

1.1 Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho é verificar e comparar o comportamento em emissão de poluentes e consumo de combustível de dois veículos equipados com ar condicionado através de testes em laboratório, considerando o ciclo urbano em três condições diferentes: sem e com acréscimo de 10% nos coeficientes de forças resistivas com o ar condicionado desligado e sem acréscimo de 10% nos coeficientes de força resistiva, porém com o ar condicionado do veículo ligado. Os veículos testados foram um Honda Accord, ano 2004 exclusivo a gasolina (amostra 1) e um Nissan March, ano 2014, *Flex* (amostra 2). Primeiramente os veículos foram abastecidos com Gasool A22 (gasolina padrão emissões com 22% de etanol anidro de referência), sendo que os ensaios sem acréscimo de 10% nos coeficientes de força resistiva, com ar condicionado ligado, foram realizados com o ventilador na velocidade intermediária e máxima. Posteriormente, a amostra 2 foi ensaiada com EHR (etanol hidratado de referência) nas mesmas condições, sendo que nos ensaios sem acréscimo de 10% nos coeficientes de força resistiva e ar condicionado ligado, apenas a velocidade máxima do ventilador foi testada. Os gases analisados foram CO₂, CO, THC e NO_x. O consumo de combustível foi calculado pelo método de balanço de carbono.

1.2 Relevância do trabalho

Existe a necessidade urgente de aproximar os resultados dos ensaios de emissões veiculares e consumo de combustível dos valores obtidos nas situações reais em pista para os veículos equipados com ar condicionado, que na atualidade representam quase 100% dos veículos novos. Pode-se afirmar categoricamente que no Brasil existe uma carência de estudos dessa natureza, além de ser necessário verificar se o acréscimo de 10% nas forças resistivas realmente se aproxima de um veículo circulando com seu ar condicionado ligado.

1.3 Estrutura da dissertação

O trabalho foi dividido em cinco capítulos. No capítulo 1 é feita uma introdução do tema a ser desenvolvido na dissertação, contemplando motivação e objetivos. O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica contendo uma abordagem teórica sobre ensaio de emissões veiculares, equipamentos envolvidos nos testes e as particularidades de ensaios de emissões veiculares em veículos equipados de ar condicionado e o estado da arte. O capítulo 3 descreve a metodologia, equipamentos e sistemas de medição adotados neste trabalho. No capítulo 4 são apresentados os resultados e é realizada uma análise destes tendo por base a bibliografia disponível. No capítulo 5 o estudo é concluído, com o fechamento das análises e discussões dos resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica completa sobre os conceitos básicos aplicados aos ensaios de emissões veiculares, equipamentos e sistemas de medições envolvidos nos testes e particularidades dos ensaios de emissões veiculares em veículos equipados com ar condicionado. Também apresenta o estado da arte sobre o assunto, mostrando a necessidade da realização de um maior número de estudos visando à criação de testes que reflitam melhor as condições reais de uso dos veículos.

2.1 Conceitos e procedimentos fundamentais adotados nos testes

2.1.1 Programas nacionais de Controle de Emissões Veiculares e Consumo de Combustível

O PROCONVE foi criado no Brasil em 1986 e estabelece metas de reduções gradativas de emissões veiculares e de ruídos em veículos automotores comercializados no Brasil. Essa redução foi escalonada em fases (QUADRO 2.1), iniciando na fase L-1 para veículos leves, que entrou em vigor em 1989. Atualmente se encontra na fase L-6, com limites vigentes a partir de 01 de janeiro de 2014. No QUADRO 2.2 apresentam-se os limites de emissões de veículos leves movidos a gasolina/etanol e mistura desses nas fases L-5 e L-6.

QUADRO 2. 1 – Fases do PROCONVE

Fase	Implantação	Legislação
L-1	1988-1991	Resolução CONAMA nº 18/86
L-2	1992-1996	
L-3	1997-2004	Resolução CONAMA nº 15/95
L-4	2005-2008	Resolução CONAMA nº 315/02
L-5	2009-2013	
L-6	2014 - Atual	Resolução CONAMA nº 415/09

Fonte: MMA²(Adaptado)

² http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf

QUADRO 2.2 – Limites das fases L-5 e L-6 do PROCONVE

Poluentes	Limites (g/km)	
	Fase L-5	Fase L-6
	Desde 1/1/2009	Desde 1/1/2014
Monóxido de Carbono (CO)	2,0	1,3
Hidrocarbonetos não metano (NMHC)	0,05	0,05
Óxidos de Nitrogênio (NOx)	0,12	0,08
Aldeídos (CHO)	0,02	0,02

Fonte:MMA² (Adaptado)

Existem limites também para veículos movidos a GNV (gás natural veicular), diesel, veículos comerciais e veículos pesados. Existe também um programa semelhante que foi criado para motocicletas, o PROMOT (Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares) em 2003.

Outro programa criado pelo governo federal foi o INOVAR - AUTO, que foi criado pela lei Nº 12.715, DE 17 DE SETEMBRO DE 2012. Segundo o MDIC³ (Ministério da Indústria, comércio exterior e serviços) o objetivo do programa é a criação de carros mais seguros e econômicos, promovendo o incentivo à pesquisa e desenvolvimento tecnológico na área automotiva. A partir de 2017, veículos que reduzirem em pelo menos 15,46% o consumo de combustível, terão descontos no IPI (Impostos sobre produtos industrializados), o que tornará o valor de compra do veículo para o consumidor mais atraente. A adesão ao programa por parte das montadoras é voluntária.

Existe ainda o PBEV (Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular). A adesão também é voluntária. Segundo CONPET⁴ (Programa Nacional de Racionalização do uso dos derivados de petróleo e gás natural), para participação no PBEV, é necessário que os fabricantes forneçam dados de consumo ao INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), que por sua vez, classifica os veículos de “A” a “E” dentro de suas categorias. Os valores de consumo são então declarados no site do INMETRO e do CONPET

³ http://inovarauto.mdic.gov.br/InovarAuto/public/inovar.jsp?_adf.ctrl-state=rxuq1mfm1_9

⁴ http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/noticia/selo-conpet-de-eficiencia-energetica-veicular-4.shtml

2.1.2 O Ensaio de Emissões Veiculares no Brasil

Como já mencionado anteriormente, o ensaio de emissões veiculares acontece em pelo menos três momentos: desenvolvimento de veículos, homologação e controle de produção.

No desenvolvimento de veículos são realizados ensaios de emissões, visando atender os limites de emissões e obter os valores desejados de consumo de combustível determinados pelo projeto antes de lançar a versão final do veículo no mercado. Em modelos já comercializados, o ensaio de emissões é realizado no desenvolvimento de novos ajustes e calibrações na central eletrônica para verificar se as novas condições são satisfatórias e atendem aos limites de emissões vigentes.

Após o desenvolvimento do veículo pelas montadoras e antes de ser comercializado é necessário que o veículo passe pelo processo conhecido como “homologação”. Neste processo é verificado se o veículo cumpre com uma série de normas ambientais e de segurança. O único órgão que realiza a homologação no Brasil é a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Após conclusão dos testes, os laudos são enviados pela CETESB ao IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). O veículo que é reprovado nos testes não pode ser comercializado. Um dos principais testes realizados na homologação de veículos é o Ensaio de Emissões Veiculares.

Finalmente, o ensaio de emissões veiculares é realizado no chamado “Controle de Produção”, onde parte da frota fabricada em um semestre deve passar por esse tipo de ensaio, antes de ser comercializada, para certificar que os resultados não sofrem grandes variações e que estão de acordo com os dados obtidos nos ensaios de homologação.

Todos os procedimentos realizados em Laboratórios de emissões veiculares são normatizados pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Apenas laboratórios acreditados pela ABNT NBR ISO/IEC 17025 podem emitir laudos aceitos pelo IBAMA. Em algumas situações, o IBAMA autoriza laudos por Laboratórios que participam regularmente de Programas Interlaboratoriais.

2.1.3 Etapas de ensaio de Emissões Veiculares no Brasil

Os gases de escape para análise são coletados durante ciclos de condução. Os principais ciclos de condução realizados no Brasil são o Ciclo Urbano e o Ciclo Estrada. Durante o ensaio Ciclo Urbano, para veículos movidos à gasolina o etanol ou mistura desses são analisados os gases: CO₂, CO, NO_x, THC e NMHC. Durante o ensaio Ciclo Urbano pode ser realizada simultaneamente a coleta e posterior análise de aldeídos de e etanol não queimado. Após este ciclo pode ser realizado o ensaio de emissão evaporativa, de acordo com a necessidade. Caso o foco dos ensaios seja a determinação do consumo de combustível, após o ensaio Ciclo Urbano é realizado o Ciclo Estrada.

Previamente à realização dos ciclos de condução deve ser determinada a resistência ao deslocamento por desaceleração livre em pista de rolamento (conhecido como *coastdown*) e ajuste da resistência ao deslocamento no dinamômetro em que serão realizados os ensaios e abastecimento do veículo com combustível adequado.

2.1.3.1 Determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração livre em pista de rolamento e ajuste da resistência ao deslocamento no dinamômetro

O procedimento para a determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração livre em pista de rolamento e ajuste da resistência ao deslocamento no dinamômetro em que serão realizados os ensaios e todas as condições ambientais e de pista estão descritas na norma ABNT NBR 10312.

A determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração livre é realizada em pista. As condições ambientais são: A pista deve ser reta, plana, isenta de irregularidades, limpa e seca. No trecho de medição, o desnível do final da pista de rolamento com relação ao início não pode exceder $\pm 1,5\%$, com variações de até 0,5%. O comprimento da pista de rolamento deve ser suficiente para permitir as medições especificadas. A temperatura ambiente deve estar entre 5 °C e 35 °C, à sombra. A velocidade do vento deve ser medida em cada período de desaceleração e não pode apresentar média superior a 3,0 m/s e picos superiores a 5,0 m/s. A velocidade do vento deve ser medida a uma altura de 0,70 m da pista de rolamento.

As condições do veículo, também descritas na mesma norma são: mínimo de 3000 km rodados (esse valor pode ser alterado, com devidas justificativas técnicas apresentadas anteriormente). Os sulcos dos pneus devem se apresentar entre 50% e 90 % da profundidade inicial. O veículo deve estar de acordo com as especificações do fabricante para uso normal.

Para o ensaio, o veículo deve estar limpo. As janelas e entradas de ar devem ser fechadas. Os faróis devem estar desligados. Acessórios externos opcionais devem ser retirados ou indicados no relatório.

Antes do ensaio, o volante do veículo deve ser girado completamente, nos dois sentidos, com veículo em movimento. Caso durante o teste seja necessário usar os freios, esse procedimento deverá ser repetido. Após isso, veículo deve ser aquecido conforme instruções do fabricante e no caso de ausência dessa instrução, o veículo deve ser rodado por pelo menos 30 minutos.

O teste consiste em acelerar o veículo a uma velocidade igual ou maior que 105 km/h e iniciar a desaceleração. Os tempos de desaceleração são medidos a cada redução de 10 km/h na velocidade até que o veículo atinja velocidade igual ou inferior a 30 km/h. Durante o ensaio não é permitido mudar de faixa (ao não ser que seja realmente necessário e neste caso a transição deve ser feita em um intervalo de pelo menos 500 m). Para as desacelerações a embreagem não pode ser acionada.

A partir deste procedimento são calculados os coeficientes de força resistiva, que posteriormente são corrigidas para as condições padrão de temperatura (293,15 K) e pressão (101,325 Kpa). Os coeficientes de força resistiva calculados e corrigidos são f_0 (termo de ordem zero) e f_2 (termo de ordem 2). Esses coeficientes obtidos em pista são usados para o ajuste do dinamômetro. A equação da força resistiva (F) para o dinamômetro é mostrada na EQUAÇÃO 2.1:

$$F = f_0 + f_2 \cdot V^2 = (M_1 + M_R) \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Onde:

M_1 é a inércia equivalente do veículo, expressa em quilogramas (kg);

M_R é a massa equivalente à inércia de rotação, em quilogramas (kg);

ΔV é a variação da velocidade no período considerado em metros/segundo (m/s);

Δt é o tempo de desaceleração no período considerado, expresso em segundos (s);
 f_0 e f_2 são os coeficientes de força resistiva, respectivamente de ordem-zero e de segunda ordem, corrigidos para as condições padrão de temperatura e pressão, expressas em newtons (N) e em newtons por metro por segundo ao quadrado ($\text{N}/(\text{m/s})^2$) respectivamente;
 V é a velocidade de referência para regulação do dinamômetro de chassi, em metros por segundo (m/s).

Para o dinamômetro elétrico, são inseridos em seu sistema de automação a inércia equivalente correspondente à massa do veículo de ensaio e os tempos de desaceleração para cada intervalo de velocidade, calculados a partir dos coeficientes de pista corrigidos, pela EQUAÇÃO 2.1. Para o ajuste do dinamômetro, são escolhidas velocidades de referência, normalmente 20, 40, 60, 80 e 100 km/h. Com base a velocidade de referência, os intervalos de desaceleração são definidos como 5 km/h abaixo e acima da velocidade de referência, resultando em uma variação de velocidade (ΔV) de 10 km/h. Como esses dados, a força resistiva (F) de referência para cada velocidade de referência é calculada.

Para realização do ajuste da resistência ao deslocamento, o veículo é posicionado sob o dinamômetro de chassi conforme ABNT NBR 6601, com as rodas de tração infladas com pressão descrita pelo fabricante. É realizado então o aquecimento do sistema, onde um piloto traciona o veículo em velocidade constante de 80 km/h por 20 minutos.

Imediatamente após o aquecimento, com o piloto ainda dentro do veículo, o dinamômetro é acelerado e em seguida desacelerado. Com base as velocidades de referência definidas, o tempo de desaceleração é medido entre nos seguintes intervalos de velocidades: de 105 a 95 km/h, de 85 a 75 km/h, de 65 a 55 km/h, de 45 a 35 km/h e de 25 a 15 km/h. Os tempos de desaceleração obtidos nesta etapa são comparados com tempos calculados com a EQUAÇÃO 2.1. Esse procedimento é repetido até o sistema de automação do dinamômetro realizar ajustes e obter a força que coincida em todos os intervalos de velocidade com as forças de referência em ± 5 N. Com esses dados é obtida uma curva que é representada pela EQUAÇÃO 2.2:

$$f = F_0 + F_1 \cdot V + F_2 \cdot V^2 \quad (2.2)$$

Onde:

f é a força realizada pelo dinamômetro, em newton (N);

F_0 , F_1 e F_2 (que em alguns laboratórios são representados por A, B e C) são os coeficientes de força resistiva do dinamômetro, expressos respectivamente em newton (N), newton por quilometro por hora [N/(km/h)] e newton por quilometro por hora ao quadrado [N/(km/h)²].

V é a velocidade de referência para regulagem do dinamômetro de chassis, em metros por segundo (m/s).

Para verificação do ajuste é realizado o teste de multi-coastdown ou conferência do coastdown. Este teste consiste em acelerar e posteriormente desacelerar o conjunto dinamômetro de chassis nos intervalos de 105 a 95 km/h, de 85 a 75 km/h, de 65 a 55 km/h, de 45 a 35 km/h e de 25 a 15 km/h. O teste é realizado pelo menos duas vezes para cada intervalo de velocidade e as forças usadas na desaceleração no teste de multi-coastdown devem coincidir com as forças obtidas na EQUAÇÃO 2.2, permitindo-se variações de ± 10 N, para cada intervalo de velocidade em cada uma das repetições.

2.1.3.2 Abastecimento

Na norma ABNT NBR 8689 estão descritos os requisitos para os combustíveis para ensaios de emissões veiculares. A mistura de gasolina padrão e etanol anidro de referência (EAR) é realizada no próprio laboratório. Essa norma descreve que os combustíveis devem ser acondicionados em temperaturas inferiores a 30 ° C previamente ao momento da mistura. Para ensaios de emissões veiculares, em veículos movidos a gasolina, é adicionado 22% de EAR conforme resolução ANP 21:2010. Segundo a ABNT NBR 8689, o combustível composto predominantemente de gasolina, contendo também EAR é nomeado como Gasool Ax, onde x é o percentual de EAR. Antigamente, a nomenclatura era Gasool Ex. O “E” na sigla era para indicar etanol, foi substituído por “A” para indicar que o etanol é Anidro.

Após a preparação da mistura é necessária a verificação do teor alcóolico. Para combustíveis a serem utilizados em ensaios de emissões veiculares, a determinação do teor alcóolico é realizada conforme ABNT NBR 13992. O teste consiste em colocar em uma proveta de 100 mL, o volume de 50 mL da amostra de combustível a temperatura ambiente. É então

adicionado uma solução de 10% de NaCl PA (cloreto de sódio para análise) em água destilada, também a temperatura ambiente, até completar o volume de 100 mL. A proveta é tampada e é invertida dez vezes. A proveta é colocada em superfície plana em repouso por 10 minutos e então é realizada a leitura da fase aquosa.

Neste teste, o etanol solubilizado na gasolina passa a ser dissolvido na solução 10% de NaCl em água. Observa-se que o volume da fase contendo gasolina é diminuído. É realizada a leitura do volume da fase aquosa. Para se calcular o teor de etanol anidro de referência (EAR) presente na amostra é utilizada a EQUAÇÃO 2.3:

$$\% \text{ em volume de EAR} = [(V_{fa} - 50) \times 2] + 1 \quad (2.3)$$

Onde:

V_{fa} é o volume final da fase aquosa em mililitros (mL).

Para ensaios com veículos abastecidos com Gasool A22, conforme Resolução ANP 21:2009, o teor alcóolico deve ser $22\% \pm 1\%$.

Outros combustíveis podem ser utilizados, como no caso de veículos movidos a Etanol. Para ensaios de emissões veiculares é usado o Etanol Hidratado de Referência (EHR).

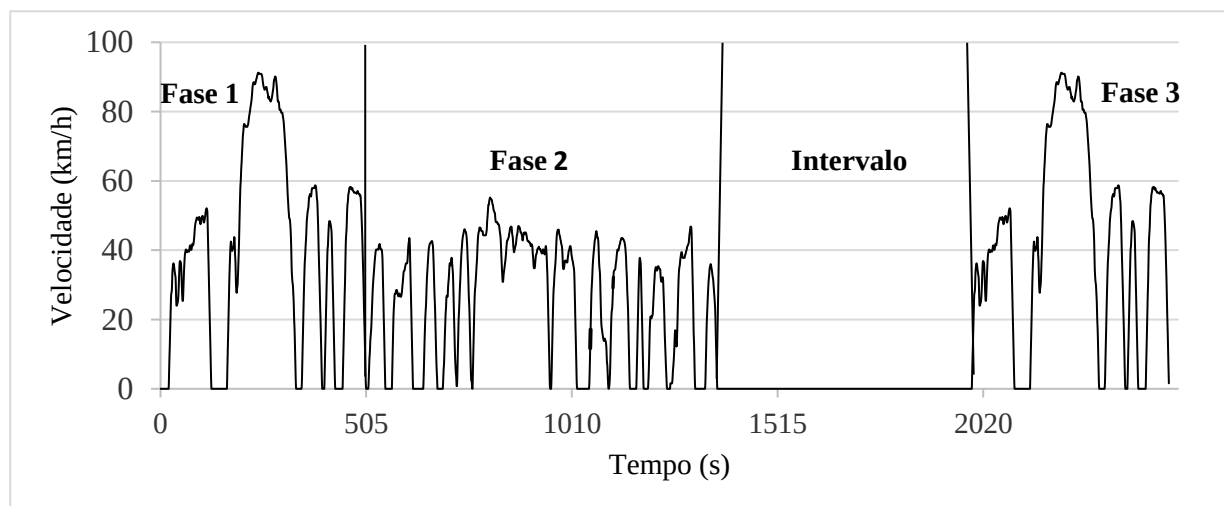
2.1.4 Ciclos de Condução

2.1.4.1 Ciclo Urbano

Após o levantamento dos dados de coastdown e abastecimento, o veículo é preconditionado. No preconditionamento são realizadas as fases 1 e 2 do ciclo urbano. O ensaio do ciclo urbano deve ser realizado de 12 a 36 horas após o término do preconditionamento. Durante esse período o veículo é mantido dentro de uma área do Laboratório com temperatura controlada entre 20 °C e 30 °C. Caso o período de 36 horas seja ultrapassado, um novo preconditionamento deve ser realizado. Quando é necessária a realização de mais de um ensaio não é realizado um novo preconditionamento, desde que o ensaio anterior tenha ocorrido no intervalo de 12 a 36 horas. Esse procedimento está descrito na norma ABNT NBR 6601. O Ciclo Urbano é conhecido nos Estados Unidos com *FTP-75 (Federal Test Procedure)* e foi instituído pela *EPA (US Environmental*

Protection Agency ou agência de proteção ambiental dos Estados Unidos). Este ciclo está ilustrado na FIG. 2.1.

FIGURA 2. 1 – Ensaio Ciclo Urbano.



Fonte ABNT NBR 6601 (adaptado).

Este ciclo caracteriza a condução urbana e é subdividido em três fases. Na primeira fase, que dura 505 segundos, ocorre a partida a frio. A segunda fase é a “estabilizada”, que dura 867 segundos, que é realizada com o catalisador do veículo já aquecido. Após a fase estabilizada é feito um intervalo de 10 minutos. E então se inicia a terceira fase, que é caracterizada pela partida a quente. O ciclo de condução da terceira fase é idêntico ao da fase 1. Existe também a quarta fase do ciclo, que é a estabilizada após a partida a quente. Essa fase não é realizada devido ao fato de que foram realizados estudos e as condições e resultados obtidos são idênticos as da segunda fase. A segunda fase então é contabilizada duas vezes no cálculo do resultado final de emissões e consumo conforme ABNT NBR 6601. O resultado final de emissões é a média ponderada das fases. O resultado final de cada uma das emissões é dado em g/km. A distância total do ensaio é 17,77 km, com velocidade média de 34,12 km/h. A velocidade máxima é 91,25 km/h.

2.1.4.2 Ciclo Estrada

No período de até três horas após o término do Ciclo Urbano, pode ser realizado o ensaio conhecido como “Ciclo Estrada”. Os equipamentos e materiais usados estão descritos na ABNT

NBR 6601. A execução geral do ensaio e os cálculos são detalhados na ABNT NBR 7024. Esse ciclo é conhecido nos Estados Unidos como *Highway Fuel Economy Test (HWFET)* e também faz parte dos procedimentos de teste da EPA e simula condições de condução em estrada. Inicialmente todo o ciclo estrada (FIG.2.2) é conduzido como condicionamento e repetido logo em seguida (iniciando no máximo 15 segundos depois), com coleta e análise de gases. A duração do ciclo é 765 segundos e a velocidade média é 77,7 km/h. A distância total percorrida é de 16,45 km.

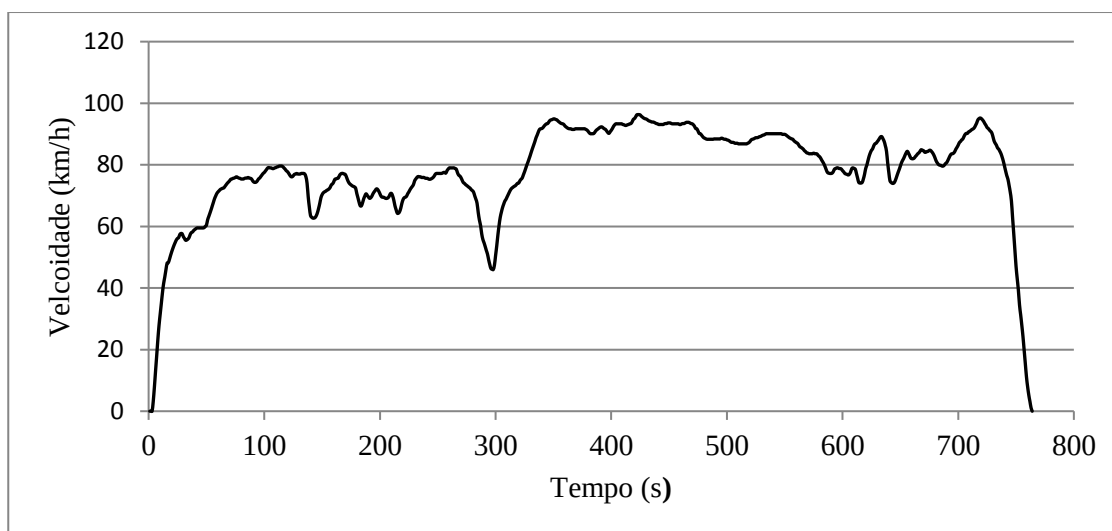


FIGURA 2. 2 – Ciclo de condução Estrada.

Fonte: ABNT NBR 7024 (adaptado).

A sequência do ensaio do ciclo urbano e estrada são mostradas na FIG.2.3.

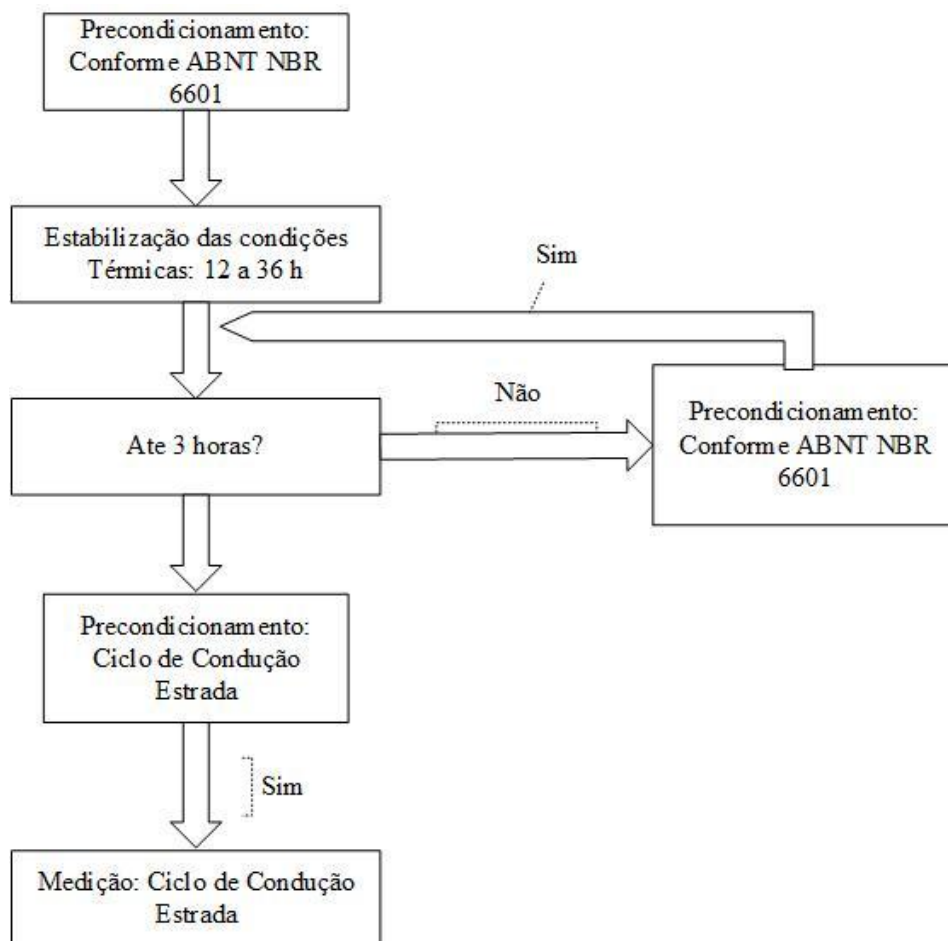


FIGURA 2. 3 – Sequência de ensaios para medição o consumo de combustível.

Fonte: ABNT NBR 6601(adaptado).

2.1.4.3 Outros Ciclos

Segundo GIAKOUKIS (2017), o *Clean air act* (Decreto do ar limpo) de 1990 sugeriu que o EPA considerasse temperatura, combustível, altitude e aceleração em seus ensaios de emissões. Baseado neste decreto em 1996 iniciou estudos para implantação de novos ciclos. Após a pesquisa, entraram em vigor em 2008 os ciclos suplementares (*Supplemental Federal test Procedure – SFTP*). Os ciclos anteriores, FTP-75 e HWFET, não foram substituídos. Novos ciclos foram adicionados, que são: US06 e SC03.

O Ciclo US06 (FIG 2.4) é voltado para direção agressiva, atinge maiores acelerações e velocidades. A distância total percorrida é 12,8 km, com velocidade média de 77,9 km/h e velocidade máxima de 129,2 km/h. A duração total é de 596 segundos.

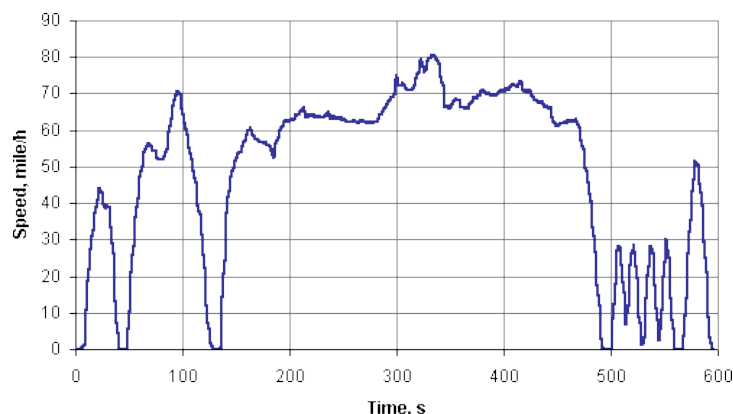


FIGURA 2. 4 – Ciclo complementar US06.

Fonte: Dieselnets, 2008.

O Ciclo SC03 prevê o uso do ar condicionado durante o ensaio. A temperatura ambiente controlada em 35 °C, 40% de umidade relativa e carga solar de 850 watts por metro quadrado do veículo. Além disso, o veículo é pré-aquecido por simulação de carga solar 10 minutos antes do ensaio, de forma que normalmente o ar condicionado atue durante todo o ensaio. O ciclo complementar SC03 é mostrado na FIG.2.5:

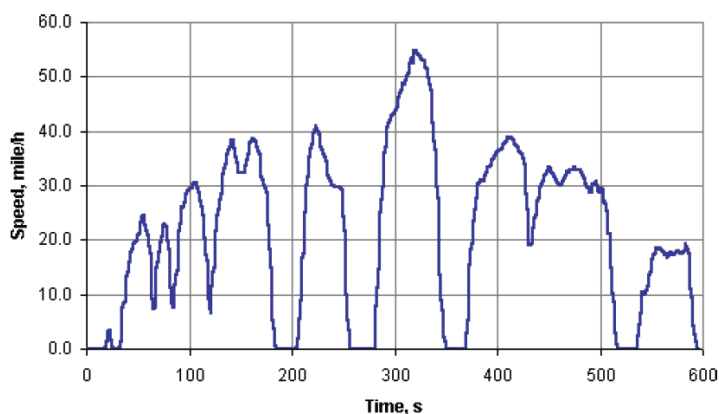


FIGURA 2. 5 – Ciclo complementar SC03.

Fonte: Dieselnets, 2008.

A distância total percorrida é 5,8 km, com velocidade média de 34,8 km/h e velocidade máxima de 88,2 km/h. A duração total é de 596 segundos.

O resultado final das emissões, em g/km dos ensaios é ponderado, considerando o ciclo FTP-75, US06 e SC03, conforme equação 2.4:

$$0,35 \times FTP - 75 + 0,28 \times US06 + 0,37 \times SC03 \quad (2.4)$$

Fonte: GIAKOUMIS (2017)

2.1.5 Ensaio de medição da emissão evaporativa

Caso seja requerido, após ensaio ciclo urbano, o ensaio de medição da emissão evaporativa pode ser realizado. Este ensaio está descrito na ABNT NBR 11481. Nele são analisados os hidrocarbonetos contidos no vapor de combustível emitido pelo veículo na atmosfera. O Ensaio de emissão evaporativa pode ser realizado a quente, onde não se faz intervenções no combustível após o ensaio ciclo urbano, ou a frio. No ensaio a frio, o combustível usado no ensaio ciclo urbano deve ser drenado e abastecido com o combustível que foi mantido refrigerado. No início do ensaio a frio, o combustível deve estar a uma temperatura abaixo de 14 °C e a medição da emissão evaporativa se inicia quando a temperatura do combustível atinge 16 ± 1 °C. Os ensaios de emissão evaporativa são realizados no interior de uma câmara selada, também conhecida como câmara *SHED* (*Sealed Housing for Evaporative Determination*).

2.1.6 Sistema CVS BAG

Durante os ciclos de condução acopla-se ao escapamento do carro uma tubulação que conduz o gás emitido para os sacos de amostra durante o ensaio. Os gases coletados durante os ciclos de condução são diluídos em ar ambiente, por um amostrador de volume constante (AVC), conhecido também como CVS (*Constant Volume Sampler*).

O sistema CVS é composto basicamente por: uma câmara de mistura com filtro na entrada do ar de diluição, um venturi crítico para vazão total, um venturi crítico para a amostragem e bags. Alguns sistemas são dotados de um trocador de calor para aquecimento do gás diluído. Em sistemas para coleta de amostragem de veículos movidos a diesel há também um ciclone para remoção de material particulado. O esquema básico de sistema CVS é mostrado na FIG.2.6.

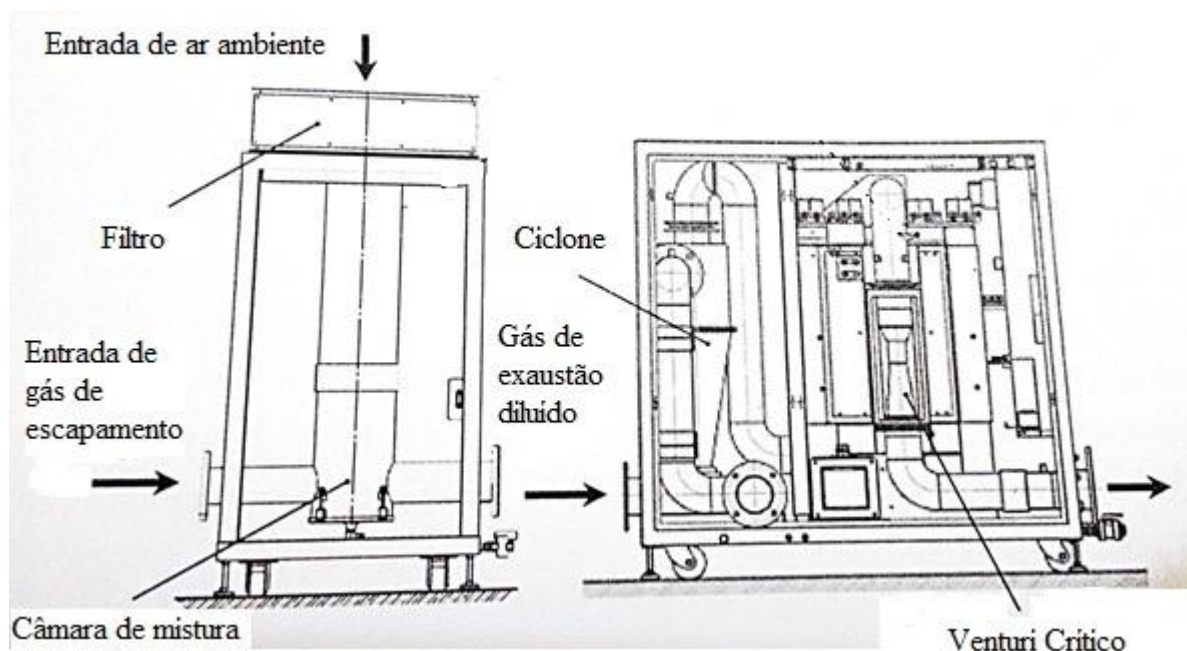


FIGURA 2. 6 – Configuração básica do sistema CVS.

Fonte: HORIBA (adaptado).

A câmara de mistura tem por função coletar e homogeneizar o gás oriundo do escapeamento do veículo e o ar ambiente durante o ensaio. Após ser misturado, o gás de exaustão diluído passa para os venturis críticos ou bocal sônico (O gás passa primeiramente pelo ciclone, quando existente, antes do bocal sônico). O bocal sônico é um medidor de vazão por diferencial de pressão. Em sistemas como o CVS, segundo FOX (1934), os diferenciais de pressão produzidos são proporcionais ao quadrado da vazão em massa e possuem perda de carga total baixa. A entrada e a saída do venturis são duas seções cônicas e em seu interior ocorre uma drástica redução da área, conhecida como “garganta”. Ao passar pela garganta ocorre um aumento da pressão promovendo assim um aumento de sua velocidade, que se torna sônica no centro do escoamento (escoamento crítico). Um bocal sônico é exemplificado na FIG 2.7.

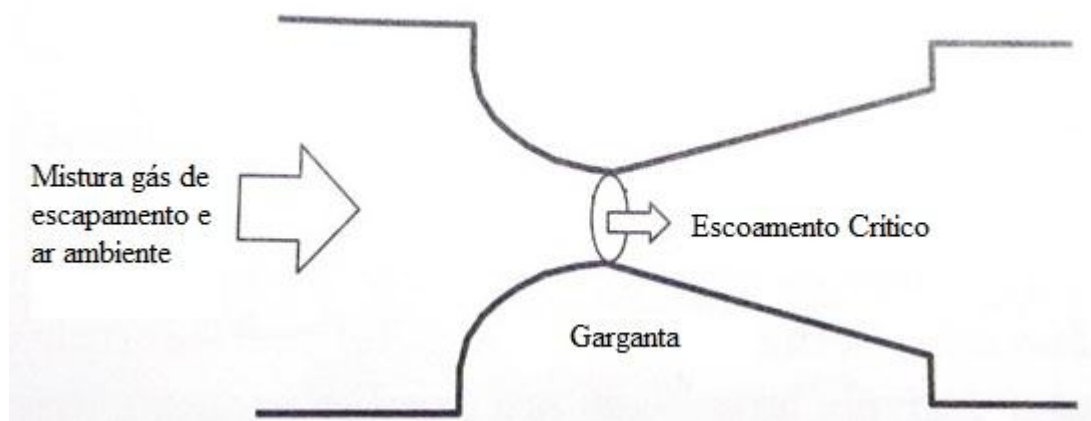


FIGURA 2. 7 – Bocal Sônico.

Fonte: HORIBA (adaptado).

Mantendo-se temperatura e pressão à montante constante, a velocidade do gás diluído e por consequência a vazão mássica que passa pelo bocal são constantes. A vazão mássica é calculada a partir do coeficiente de calibração do venturi. Uma quantia do gás diluído, proporcional a quantidade total de gás, passa por outro venturi e é amostrada para os bags (sacos coletores de amostra). Considerando a concentração de gases nos *bags*, a vazão mássica e a densidade dos compostos é possível calcular a emissão total em unidade de massa.

2.1.3.7 Sistema de analisadores e gases analisados

Após ser armazenada nos sacos coletores de amostra, uma alíquota do gás de escape é analisada em um sistema de analisadores. Nesse sistema os gases analisados em veículos leves ciclo otto são: CO_2 (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrogênio), Hidrocarbonetos totais (THC) e Metano (CH_4). Normalmente o CH_4 não aparece em relatórios de ensaios de emissões, sendo relatado apenas o NHMC (Hidrocarbonetos não metano). Esse é dado pela diferença entre THC e CH_4 . Os gases analisados, com seus respectivos formação e efeitos nocivos são mostrados no QUADRO 2.3.

QUADRO 2.3 – Gases, formação e efeitos nocivos

Gás	Formação e Efeitos nocivos.
CO ₂	Produto da combustão completa de combustíveis usados em veículos ciclo otto. Gás de efeito estufa.
CO	Produto da combustão incompleta de combustíveis usados em veículos ciclo otto. É uma substância inodora, insípida e incolor – atua no sangue reduzindo sua oxigenação (CETESB ⁵).
THC	Produto da combustão incompleta de combustíveis usados em veículos ciclo otto. Alguns tipos de hidrocarbonetos reagem na atmosfera promovendo a formação do “smog” fotoquímico (CETESB ⁵).
CH ₄	Produto da combustão incompleta de combustíveis usados em veículos ciclo otto. Gás de efeito estufa.
NO _x	Os óxidos de nitrogênio (NO _x) são uma combinação de nitrogênio e oxigênio que se formam em razão da alta temperatura na câmara de combustão – participa na formação de dióxido de nitrogênio e na formação do “smog” fotoquímico (CETESB ⁵).

Os gases CO₂ e CO são quantificados pelo mesmo princípio, chamado de raios infravermelhos não dispersivos. Normalmente há um analisador para os dois compostos e existe um filtro de comprimento de onda, permitindo a passagem dos compostos de interesse (HOLLER, SKOOG, CROUCH 2005). Cada gás tem um comprimento de onda específico e assim eles são diferenciados. O princípio de funcionamento básico desse sistema consiste em enviar o gás de amostra diluído ao detector continuamente, onde é lançado um feixe de infravermelho. O mesmo feixe é lançado sobre um gás de comparação que não reage ao infravermelho. A radiação infravermelha enviada ao gás de comparação não é absorvida e é refletida com o mesmo sinal que foi recebida. Já na célula contendo a amostra, apenas uma parte da radiação enviada é refletida, pois parte foi absorvida. A absorção é proporcional à concentração do analito de interesse na amostra (DAEMME 2009).

Os gases THC e CH₄ são analisados por analisadores FID (*Flame ionization detection*). Normalmente existem dois analisadores dedicados, uma para o THC e outro para o CH₄. O metano, antes de passar pelo seu analisador, é isolado, usando-se uma coluna cromatográfica para sua

⁵ <http://veicular.cetesb.sp.gov.br/>

separação dos demais hidrocarbonetos. Para a análise de THC a amostra passa pelo analisador sem uma separação prévia. Em ambos os casos, a amostra contendo hidrocarbonetos é exposta a uma chama de hidrogênio, gerando íons. O FID gera sinais que são proporcionais ao número de carbonos (HORIBA, 2013).

Os NO_x são analisados por Luminescência Química. O gás de amostra contendo óxido de nitrogênio é encaminhado para um reator contendo O_3 (ozônio), sendo assim oxidado e se tornando NO_2 (dióxido de nitrogênio). As moléculas de NO_2 são excitadas, absorvendo energia. Para voltar ao estado de energia anterior, são liberados fótons, ou seja, é liberada energia em forma de luz. Esta reação é chamada de quimiluminescência. A luz liberada gera um sinal que é proporcional à quantidade de moléculas de NO da amostra inicial (DAEMME, 2009).

2.1.3.8 Determinação de Aldeídos e Etanol não queimado em gás de Escapamento.

Quando requerido, uma alíquota do gás de escape diluído em ar ambiente é direcionada para o coletor de aldeídos e etanol não queimado. Esse gás é dissolvido em soluções específicas que posteriormente são analisadas em cromatógrafos. A determinação de aldeídos (formaldeído e acetaldeído) em gás de escapamento por cromatografia líquida está descrita na ABNT NBR 12026. A determinação de Etanol não queimado contido no gás de escapamento é realizado por cromatografia gasosa e está descrita na ABNT NBR 15598.

2.1.3.9 Cálculos de resultados de emissões e consumo de combustível

Todos os dados que devem ser aquiritados e os cálculos necessários para quantificar as emissões em gás de escapamento se encontram na ABNT NBR 6601. Os cálculos para autonomia e consumo podem ser consultados na ABNT NBR 7024. Estes cálculos estão sintetizados nos itens a seguir.

Para o cálculo da massa de poluentes é necessário o volume do gás amostrado nas condições de entrada do CVS (V_{ed}), corrigido para a condição padrão de temperatura e pressão (293,15 K e 101.325 Kpa), expressa em m^3 , para cada fase. O Volume (V_{ed}) é calculado conforme EQUAÇÃO 2.5:

$$V_{ed} = \frac{P_{v1} \cdot V_{v1} \cdot 293,15}{101,325 \cdot (T_{V1} + 273,15)} \quad (2.5)$$

Onde:

P_{v1} é a pressão na entrada do Venturi, expressa em quilopascals (kPa);

V_{v1} é o volume total da amostra na entrada do Venturi sem correção, expressa em metros cúbicos (m³);

T_{v1} é a temperatura na entrada do Venturi, expressa em graus Celsius (°C).

P_{v1} é a pressão na entrada do Venturi, expressa em quilopascals (kPa);

V_{v1} é o volume total da amostra na entrada do Venturi sem correção, expressa em metros cúbicos (m³);

T_{v1} é a temperatura na entrada do Venturi, expressa em graus Celsius (°C).

Como no sistema CVS-BAG a amostra é diluída em ar ambiente, é necessário o cálculo da razão de diluição (RD), visto na EQUAÇÃO 2.6:

$$RD = \frac{CO_{2ES}}{CO_{2e} + (HC_e + CO_e) \cdot 10^{-4}} \quad (2.6)$$

Onde:

CO_{2ES} é a porcentagem teórica de CO₂ no gás resultante de uma combustão em condições estequiométricas. Para veículos movidos a gasolina, etanol e suas misturas, o valor adotado é 13,4; CO_{2e} é a concentração de CO₂ medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído, expressa em porcentagem (%);

HC_e é a concentração de THC medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído, expresso em partes por milhão de carbono (ppmC);

CO_e é a concentração de CO medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído, expressa em partes por milhão (ppm).

A massa de CO₂ (CO_{2M}) é dada pela EQUAÇÃO 2.7:

$$CO_{2M} = v_{ed} \cdot d_{CO_2} \cdot \left[CO_{2e} - CO_{2d} \cdot \left(1 - \frac{1}{RD} \right) \right] \cdot 10^{-2} \quad (2.7)$$

Onde

CO_{2e} é a concentração de CO₂ medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído, expressa em porcentagem (%);

CO_{2d} é a concentração de CO₂ medida no balão de amostragem do ar de diluição, expressa em porcentagem (%).

d_{CO_2} é a densidade de massa de dióxido de carbono, igual a 1830 g/m³ a 293,15 K e 101,325 kPa.

O cálculo das emissões em gramas de CO (CO_M) é utilizado a EQUAÇÃO 2.8:

$$CO_M = v_{ed} \cdot d_{CO} \cdot \left[CO_e - CO_d \cdot \left(1 - \frac{1}{RD} \right) \right] \cdot 10^{-6} \quad (2.8)$$

Onde:

CO_e é a concentração de CO medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído, expressa em partes por milhão (ppm);

CO_d é a concentração de CO medida no balão de amostragem do ar de diluição, expressa partes por milhão (ppm);

d_{CO} é a densidade de massa de dióxido de carbono, igual a 1164 g/m³ a 293,15 K e 101,325 kPa.

O cálculo das emissões em gramas de CH₄ (CH_{4M}) é utilizado a EQUAÇÃO 2.9:

$$CH_{4M} = v_{ed} \cdot d_{CH_4} \cdot \left[CH_{4e} - CH_{4d} \cdot \left(1 - \frac{1}{RD} \right) \right] \cdot 10^{-6} \quad (2.9)$$

Onde:

CH_{4e} é a concentração de CH₄ medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído, expressa em partes por milhão de carbono (ppmC);

CH_{4d} é a concentração de CH₄ medida no balão de amostragem do ar de diluição, expressa em partes por milhão de carbono (ppmC);

d_{CH_4} é a densidade de massa dos hidrocarbonetos, igual a 576,8 g/m³, assumindo-se uma relação carbono-hidrogênio média de 1:1,85 a 293,15 K e 101,325 kPa.

O cálculo das emissões em gramas de THC (THC_M) é utilizado a EQUAÇÃO 2.10:

$$THC_M = v_{ed} \cdot d_{THC} \cdot \left[THC_e - THC_d \cdot \left(1 - \frac{1}{RD} \right) \right] \cdot 10^{-6} \quad (2.10)$$

Onde:

THC_e é a concentração de THC medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído, expressa em partes por milhão de carbono (ppmC);

THC_d é a concentração de THC medida no balão de amostragem do ar de diluição, expressa em partes por milhão de carbono (ppmC);

d_{THC} é a densidade de massa dos hidrocarbonetos, igual a 576,8 g/m³, assumindo-se uma relação carbono-hidrogênio média de 1:1,85 a 293,15 K e 101,325 kPa.

O cálculo das emissões em gramas de NMHC ($NMHC_M$) é utilizado a EQUAÇÃO 2.11:

$$NMHC_M = v_{ed} \cdot d_{THC} \cdot \left\{ \left[THC_e - THC_d \cdot \left(1 - \frac{1}{RD} \right) \right] - Fr_{CH_4} \cdot \left[CH_{4e} - CH_{4d} \cdot \left(1 - \frac{1}{RD} \right) \right] \right\} \cdot 10^{-6} \quad (2.11)$$

Onde

CH_{4e} é a concentração de CH₄ medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído, expressa em partes por milhão de carbono (ppmC);

CH_{4d} é a concentração de CH₄ medida no balão de amostragem do ar de diluição, expressa em partes por milhão de carbono (ppmC);

d_{CH_4} é a densidade de massa do metano, igual a 667,1 g/m³ a 293,15 K e 101,325 kPa;

Fr_{CH_4} é o fator de resposta do analisador de hidrocarbonetos para o metano.

O cálculo das emissões em gramas de NO_x (NO_{XM}) é utilizado a EQUAÇÃO 2.12:

$$NO_{XM} = v_{ed} \cdot d_{NO_2} \cdot F_U \cdot \left[NO_{Xe} - NO_{Xd} \cdot \left(1 - \frac{1}{RD} \right) \right] \cdot 10^{-6} \quad (2.12)$$

Onde:

NO_{Xe} é a concentração de NO_x medida no balão de amostragem do gás de escapamento diluído, expressa em partes por milhão (ppm);

NO_{Xd} é a concentração de NO_x medida no balão de amostragem do ar de diluição, expressa em partes por milhão (ppm);

d_{NO_x} é a densidade de massa dos óxidos de Nitrogênio, igual a 1913 g/m³, assumindo-os na forma de NO₂, a 293,15 K e 101,325 kPa;

F_U é o fator de correção de umidade.

O resultado final é ponderado. Essa ponderação tem como origem estudos do EPA, onde foram avaliados percentuais mais condizentes com a realidade para cada tipo de simulação. O resultado final é dado em gramas por quilômetro (g/km) e é calculado com a EQUAÇÃO 2.13:

$$Y_{MP} = 0,43 \cdot \left(\frac{Y_{TF} + Y_{TE}}{D_{TF} + D_{TQ}} \right) + 0,57 \cdot \left(\frac{Y_{TQ} + Y_E}{D_{TQ} + D_E} \right) \quad (2.13)$$

Onde:

Y_{MP} é a emissão ponderada de cada componente do gás emitido, expressa em gramas por quilômetro (g/km);

Y_{TF} é a emissão em massa de cada componente do gás emitido na fase transitória com partida a frio, expressa em gramas (g);

Y_E é a emissão em massa de cada componente do gás emitido na fase estabilizada, expressa em gramas (g);

Y_{TQ} é a emissão em massa de cada componente do gás emitido na fase transitória com partida a quente, expressa em gramas por quilômetro (g/km);

D_{TF} é a distância percorrida pelo veículo, medida durante a fase transitória com partida a frio, expressa em quilômetros (km);

D_E é a distância percorrida pelo veículo, medida durante a fase estabilizada, expressa em quilômetros (km);

D_{TQ} é a distância percorrida pelo veículo, medida durante a fase transitória com partida a quente, expressa em quilômetros (km).

O consumo de combustível (C) pode ser calculado pelo método balanço de carbono, descrito na ABNT NBR 7024. Para veículos movidos à gasolina, etanol ou misturas desses, o consumo de combustível é calculado conforme a EQUAÇÃO 2.14.

$$C = \frac{[(0,8656 \cdot m_{THC}) + (0,4288 \cdot m_{CO}) + (0,2729 \cdot m_{CO_2})]}{(6,4487 \% V_{gás}) + (4,1102 \% V_{ETOH})} \times 100 \quad (2.14)$$

Onde:

C é o consumo de combustível, em L/100 km;

m_{THC} é a massa de THC emitida, expressa em gramas por quilômetro (g/km);

m_{CO} é a massa de CO emitida, expressa em gramas por quilômetro (g/km);

m_{CO_2} é a massa de CO₂ emitida, expressa em gramas por quilômetro (g/km);

$\%V_{\text{gás}}$ é a porcentagem, em volume a 20°C, de gasolina no combustível utilizado;

$\%V_{\text{ETOH}}$ é a porcentagem, em volume a 20°C, de etanol no combustível utilizado, descontada a porcentagem de água, sendo neste caso zero para etanol anidro e 93,4 para EHR.

A autonomia é calculada conforme EQUAÇÃO 2.15:

$$A = \frac{100}{C} \quad (2.15)$$

Onde:

A é a autonomia do veículo expressa em km/L

C é o consumo expresso em l/100 km.

Para o selo do PBEV, os valores de autonomia (EQUAÇÃO 2.16) e consumo (EQUAÇÃO 2.17) obtidos em Laboratórios de emissões são corrigidos, conforme:

$$A_{\text{urb}}^{\text{corr}} = \frac{1}{0,0076712 + \frac{1,18053}{A_{\text{urb}}}} \quad (2.16)$$

$$A_{\text{est}}^{\text{corr}} = \frac{1}{0,0032389 + \frac{1,3466}{A_{\text{est}}}} \quad (2.17)$$

Onde:

$A_{\text{urb}}^{\text{corr}}$ é a autonomia do ciclo urbano corrigida;

A_{urb} é a autonomia do ciclo urbano calculada conforme ABNT NBR 7024;

$A_{\text{est}}^{\text{corr}}$ é a autonomia do ciclo estrada corrigida;

A_{est} é a autonomia do ciclo urbano calculada conforme ABNT NBR 7024.

2.1.5 Ar condicionado automotivo

Segundo KAYNAKLI e HORUZ (2003) a maioria dos sistemas de ar condicionado automotivo operam no ciclo de compressão a vapor. Segundo MORAN E SAPHIRO (2004) este

ciclo é o mais comum em refrigeração atualmente. Os principais componentes do ar condicionado automotivo são o compressor, evaporador, condensador e válvula de expansão, conforme mostrado na FIG.2.8.

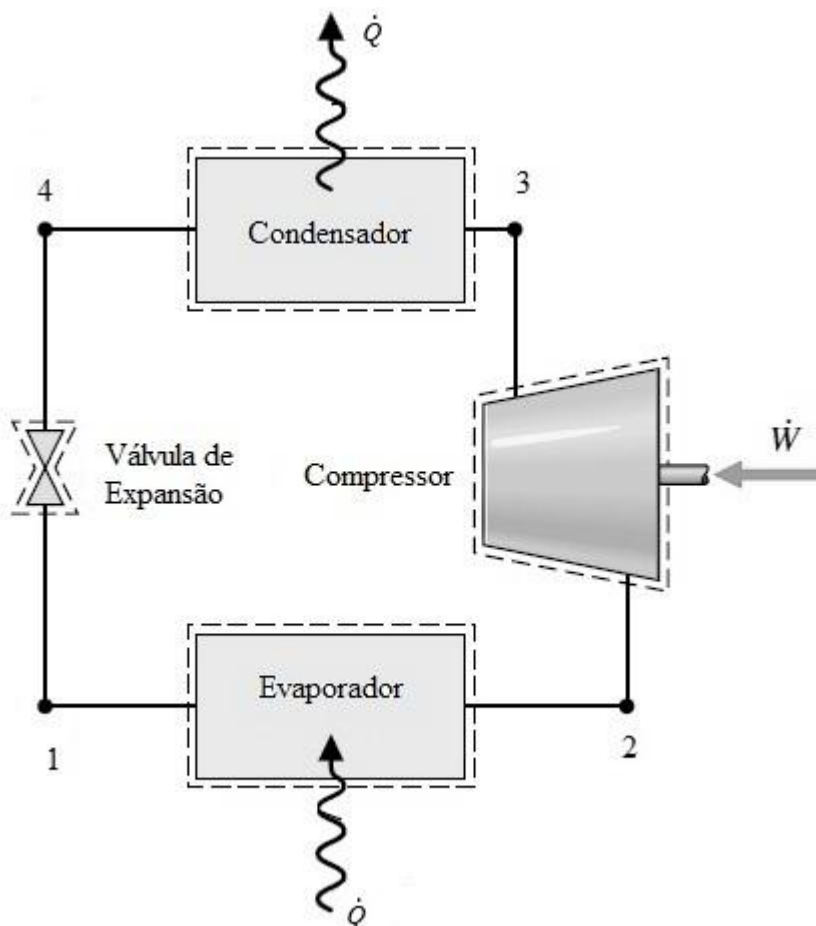


FIGURA 2. 8 – Esquema do ciclo termodinâmico do ar condicionado.

Fonte: HORIBA (adaptado).

O ar aquecido da cabine do passageiro segue para o evaporador, onde troca calor com o fluido refrigerante (atualmente no Brasil o fluido mais utilizado é o R-134a) que se encontra em duas fases, líquido e vapor. O fluido refrigerante absorve o calor do ar proveniente do habitáculo. O fluido refrigerante sai a baixa pressão do evaporador (1) e dependendo da quantidade do calor trocado pode sair no estado vapor ou em uma mistura vapor-líquido. O fluido refrigerante, passa pelo compressor (2), que realiza trabalho para comprimir e elevar a temperatura do fluido. O fluido se torna vapor superaquecido e segue para condensador (3). No condensador o fluido rejeita calor

para o ar que se encontra no motor do automóvel e passa para o estado líquido. O condensador normalmente está localizado em frente ao radiador do veículo. O fluido então segue para a válvula de expansão (4) onde é expandido e entra com baixa pressão no evaporador, numa mistura de líquido e gás. A válvula de expansão regula o fluxo de fluido que chega ao evaporador e assim o ciclo recomeça. Pode ocorrer a recirculação do ar da cabine do passageiro ou ocorre uma renovação do ar, de acordo com a opção selecionada pelo passageiro.

O tipo de ar condicionado mais comum é com sistema de controle em malha aberta. O sinal de saída não é controlado e não é informado ao controlador, não sendo possível escolher um *setpoint* (PUJATTI 2007 e OGATA 2003). Portanto não é possível, por exemplo, programar uma temperatura para o interior do veículo e mantê-la. Uma alternativa para tornar a temperatura do habitáculo mais agradável quando existe a sensação térmica de frio consequente do uso do ar condicionado para o usuário é a possibilidade de misturar com o ar resfriado o ar quente do motor do veículo. Para isso, usa-se o botão que controla a quantidade de ar quente proveniente do motor que mistura com o ar resfriado proveniente do ar condicionado.

Já em sistemas com controle em malha fechada, para um ar condicionado automotivo, por exemplo, existe um sensor de temperatura, que mede a variável de resposta que é consequência da ação de comando do controlador. Essa informação é enviada ao controlador como a função erro, que irá influenciar na ação de correção do sistema, até a temperatura chegar no *setpoint* desejado (FRANKLIN *et. al* 2013). Assim, é possível programar a temperatura do interior da cabine do passageiro. Uma vez alcançada, a temperatura desejada é mantida. Dessa forma, a demanda energética para o trabalho do compressor se torna menor, pois o compressor não precisa trabalhar na capacidade máxima durante todo o tempo de utilização do ar condicionado.

Outra possibilidade para melhorar a sensação de conforto térmico de um usuário de ar condicionado automotivo é usar o seletor de velocidade do ventilador. GAURAV e KUMAR (2015) testaram a variação do controle de velocidade do ventilador do ar condicionado automotivo. A velocidade do ventilador foi variada utilizando o botão seletor. A velocidade do vento foi medida por um tacômetro sem contato. O veículo foi estacionado em uma garagem sem incidência solar. A temperatura externa era de 32° C e apenas uma pessoa permaneceu no interior do veículo. Buscou-se abaixar a temperatura interna do veículo para até 24°C. O teste foi realizado com o motor em 4 rotações diferentes (1400, 1740, 2250 e 2656 rpm) que foram mantidas constantes até a temperatura desejada. O tempo necessário para se reduzir a temperatura de 32 ° a 24 ° C foi 525,

411, 319 e 293 segundos, respectivamente. Ou seja, quanto maior a rotação do motor, mais rápido ocorreu o resfriamento do interior do veículo. No mesmo estudo foi observado que o tempo necessário para o resfriamento foi menor quanto maior a velocidade do ventilador.

No relatório *Special Report: Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System* é apresentado uma relação de diferentes rotações do motor, temperatura ambiente e a potência (calculada) do compressor do ar condicionado automotivo. Neste trabalho pode-se concluir que o compressor consome maior trabalho quanto maior a rotação do motor. Da mesma forma, o aumento da temperatura externa também aumenta a potência consumida pelo compressor. Uma vez que a temperatura ambiente é a temperatura de descarga do fluido do compressor, quanto maior ela for, maior será a quantidade de energia fornecida ao fluido para atingir tal estado.

Em 2006, O EPA divulgou um estudo “*Fuel Economy Labeling of Motor Vehicles: Revisions to Improve Calculation of Fuel Economy Estimates*”. Este estudo afirma que o ar compressor do ar condicionado automotivo nem sempre está acoplado. O acoplamento depende temperatura ambiente, umidade, radiação solar e tempo que o veículo está ligado. Para esse levantamento foram utilizados dados de uma pesquisa realizada em Phoenix em 1992. Concluiu-se que, quanto maior a temperatura e umidade, maior o número de vezes em que o compressor é acionado. Quanto menor o percurso, maior a influência da incidência solar.

2.1.6 Ensaios de Emissões Veiculares em veículos equipados com ar condicionado

Segundo a ABNT NBR 6601 “Quando for esperado que mais de 33% dos veículos de mesma marca, modelo, motor e transmissão sejam equipados com condicionador de ar, originalmente na linha de produção, deve ser acrescida de 10% até de 1 kW, para ensaios de todos os veículos de ensaio representantes dessa família de motores”. Então os ensaios realizados no Brasil para veículos equipado com ar condicionado ocorrem nas condições gerais descritas na ABNT NBR 6601, com o acessório do veículo mantido desligado e apenas há o acréscimo de 10% nos coeficientes de força resistiva.

Nos Estados Unidos, para veículos com ar condicionado, após o ensaio FTP-75 é realizado o ensaio complementar SC03, desde 2008 (DIESELNET⁶). O ensaio é realizado com ar

⁶ https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp_sc03.php

condicionado do veículo ligado, com temperatura ambiente controlada em 35° C, conforme mostrado em 2.1.4.3 deste trabalho.

Na Europa atualmente os ensaios de emissões veiculares são realizados com o ar condicionado do veículo desligado. O ensaio realizado atualmente para homologação é conhecido como NEDC (*New European Drive Cycle*). Está previsto para entrar em vigor em 2017 um novo ciclo, o WLTP (*WorldWide Harmonized Light Vehicle Test Procedure*) (Mock et al. 2014). Para esse novo ciclo, inicialmente não está previsto ensaios com ar condicionado ligado. Existem projetos para um ciclo adicional que incluiu testes com o ar condicionado do veículo ligado. No entanto, não existe data exata para esse novo procedimento entrar em vigor (MOCK; GERMAN. 2015). Segundo MOCK et al. (2012), A ADAC (*Allgemeiner Deutscher Automobil-Club*) criou o EcoTest, que é baseado nos ciclos oficiais, porém com algumas modificações. O objetivo é obter resultados mais próximos dos obtidos em condições reais. O EcoTest é constituído de 3 testes, sendo que o primeiro consiste no ciclo NEDC a quente, ou seja, iniciando com o motor do veículo já aquecido e com ar condicionado ligado, programado para 20°C.

2.1.7 Cálculo da Incerteza

Segundo GUM 2008, para medições repetidas e independentes, realizadas nas mesmas condições (condições de repetibilidade), o valor da média aritmética $\bar{q}$ é uma boa estimativa do valor esperado, assim como o desvio padrão experimental da média $S(\bar{q})$ é uma boa estimativa da medida da incerteza e dessa forma foi calculado neste trabalho. A média aritmética $\bar{q}$ e desvio padrão experimental da média $S(\bar{q})$ são dados pela EQUAÇÃO 2.17 e EQUAÇÃO 2.18, respectivamente.

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (2.17)$$

Onde:

N é o número de medições;

q_k é valor encontrados para as observações independentes obtidas sob mesmas condições de medição.

$$S(\bar{q}_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (2.18)$$

Para a incerteza expandida, usou-se $k=2$. Calculou-se ainda a incerteza expandida percentual. Nos gráficos apresentados no capítulo de resultados deste trabalho, o desvio apresentado na barra de erros é a incerteza expandida.

2.2 Estado da Arte

Segundo WEAVER e CHAN (1995) uma falha do ciclo FTP-75 é o fato do ar condicionado do veículo ser desligado durante o teste. Segundo GIAKOUMIS (2017), as montadoras não se preocuparam em diminuir emissões veiculares quando o ar condicionado automotivo estava ligado, visto que anteriormente a 2008 este utilitário não era testado em ensaios e era acrescido 10% nos coeficientes de força resistiva. Segundo WEAVER e CHAN (1995) e GIAKOUMIS (2017), foram testados cerca de 20 veículos instrumentados para o EPA, durante cerca de duas semanas, resultando em mais de 1000 viagens. Concluiu-se que os valores de NO_x dobravam com o uso do ar condicionado e o consumo aumentava cerca de 20%. Nas referências duas referências não encontrou-se um detalhamento das condições dos ensaios onde esses resultados foram obtidos.

FRAME e WHITNEY (2002) em nome do Departamento de Energia dos Estados Unidos estudou um veículo volkswagem Jetta, motor 1.9, ano 1999, manual, movido a diesel no ciclo FTP-75 e nos ciclos complementares do EPA. Neste estudo, observou-se que na ponderação mostrada na equação 2.5 para cálculo de emissões, 36% do NO_x total é proveniente do ciclo SC03.

No documento *Air Resources Board*, de 24 de fevereiro de 2009, do estado da Califórnia nos Estados Unidos, apresenta uma relação de aumento de consumo de 17 g/milha (equivalente a 10,6 g/km) de aumento na emissão de CO_2 quando o ar condicionado é ligado no ciclo FTP-75. Esse fator é corrigido de acordo com o tempo que o utilitário permanece ligado durante o ciclo. No mesmo documento é afirmado que esse fator é derivado de pesquisas anteriores sem, no entanto, detalhá-las. Ainda no documento *Air Resources Board*, de 24 de fevereiro de 2009 é mostrada a emissão de CO_2 de alguns veículos, entre eles um identificado como “Veículo 1”, um carro de pequeno porte que tem a emissão de CO_2 mais próxima dos veículos que são estudados nessa dissertação. No ciclo FTP-75 com ar desligado a emissão é de aproximadamente 167,2 g/km enquanto no ciclo SC03 229,3 g/km. Essas diferenças são em parte pelo uso do ar condicionado, mas também devido às condições mais severas do ciclo SC03.

Um grupo de pesquisadores do *Texas Transportation Institute* ensaiou um veículo Dodge Grand Caravan, ano 1999 movido à gasolina no ciclo estrada (HWFET), considerando o ar

condicionado automotivo ligado e desligado. Segundo LEE *et al* (2012) para os ensaios com ar condicionado automotivo ligado, houve um aumento de emissão de: 19 % em CO₂, 53% em CO, 135% em NO_x e 233% em THC.

Os pesquisadores BARBUSSE, CLODIC e ROUMÉGOUX (1998) testaram 10 veículos à gasolina e compararam resultados dos ensaios de emissões e consumo em Ciclo Europeu quando os veículos operaram com ar condicionado desligado e ligado, mantendo a temperatura interna do veículo em 20° C, em duas condições distintas. Na primeira a temperatura ambiente do Laboratório foi mantida em 30°C, a umidade relativa do ar em 50% e sem simulação de energia solar. Na segunda condição, a temperatura do Laboratório foi mantida em 40°C e com simulação de energia solar. Para veículos movidos à gasolina, quando o ar condicionado do veículo permaneceu ligado houve em média aumento de 31% no consumo de combustível na primeira condição e em média 38% na segunda condição, quando comparado com o ar condicionado desligado. Nos trechos do ciclo onde a velocidade era mais elevada foi encontrado um aumento no consumo de combustível entre 16% e 20%, variando de acordo com a temperatura. Segundo os mesmos autores, na primeira condição houve um aumento de 17% de CO (+0,45 g/km) e 70% para o NO_x (+0,14 g/km) no Ciclo Urbano. No Ciclo Estrada o CO aumentou quase 75% (+0,02 g/km) e o NO_x cerca de 50% (+0,06 g/km). Na segunda condição foi encontraram um aumento percentual em emissões semelhantes à primeira condição.

ROUJOL e JOUMARD (2009) avaliaram o aumento do consumo de combustível em veículos com o ar condicionado ligado e desligado. O consumo extra de combustível foi expresso em litros por hora (L/h). Foram testados 38 veículos a gasolina de médio porte, com troca de marcha manual. O aumento do consumo de combustível foi em média de 0,7 L/h. Uma segunda classe de 25 veículos a gasolina do mesmo porte do anterior, com transmissão automática foi testada. Neste caso, o aumento do consumo de combustível foi em média 0,75 L/h. O aumento de consumo de combustível variou de 0,65 L/h para 0,95 L/h das velocidades de 19 km/h a 120 km/h. As condições climáticas, especialmente temperatura, influenciaram o funcionamento do ar condicionado e consequentemente a emissão de poluentes e o consumo de combustível. Os experimentos não contemplaram a influência da incidência solar.

Devido à carência de estudos, especialmente no Brasil que comparem a influência do ar condicionado automotivo em emissões veiculares e consumo de combustível e diante dos fatos expostos na bibliografia, existe a necessidade urgente de atribuir uma maior importância aos

ensaios de emissões veiculares para os veículos equipados com ar condicionado, que na atualidade representam quase 100% dos veículos novos. É necessário que os estudos avancem no sentido de criar testes que reflitam melhor as condições reais.

3. METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia usada neste estudo, explicita os equipamentos e sistemas de medição utilizados e fornece a metodologia de cálculo e de análise da incerteza de medição.

3.1 Sequência dos Ensaios

Neste trabalho duas amostras foram ensaiadas em condições similares com e sem o uso de ar condicionado veicular e com e sem o acréscimo de 10% nos coeficientes de força resistiva.

As duas amostras foram denominadas Amostra 1 e Amostra 2 e são mostradas nas FIG.3.1 e 3.2 respectivamente.



FIGURA 3. 1 – Amostra 1



FIGURA 3. 2 -Amostra 2

A amostra 1 é um Honda Accord ano 2004, motor 2,4 L, automático com 5 marchas, movido exclusivamente a gasolina, inércia equivalente de 1361 kg. A potência máxima é 158 cv a 5500 rpm. O torque máximo é 22 kgfm a 4500 rpm. A amostra 2 é um Nissan March ano 2015, motor 1.0 L, manual com 5 marchas, flex, inércia equivalente de 1134 kg. A potência máxima é 77 cv quando abastecido exclusivamente a etanol e 75 cv com gasolina, ambos a 5830 rpm. O torque máximo é 10 kgfm a 4350 rpm. Em ambos os veículos o sistema de controle do ar condicionado é de malha aberta. São duas amostras que se encontram em condições distintas em termos de classe de inércia, torque, potência. Considera-se que em para um veículo com motor 1.0, devido à sua menor potência, o uso do ar condicionado consome maior percentual da energia produzida pelo motor quando comparado com veículos com maior potência, como é o caso do Honda Accord usado nesse estudo. Além disso, são duas amostras com condições comerciais distintas. Veículos com motorização 1.0

ainda são mais vendidos no Brasil e correspondem a 1/3 do número total de licenciamentos em 2016 enquanto a amostra 2%, segundo dados da ANFAVEA. Além disso, existe entre as amostras diferenças quanto ao tempo de uso.

Para a realização dos testes, foram seguidas as etapas conforme ABNT NBR 6601:2012, que são mostradas na FIG.3.3.

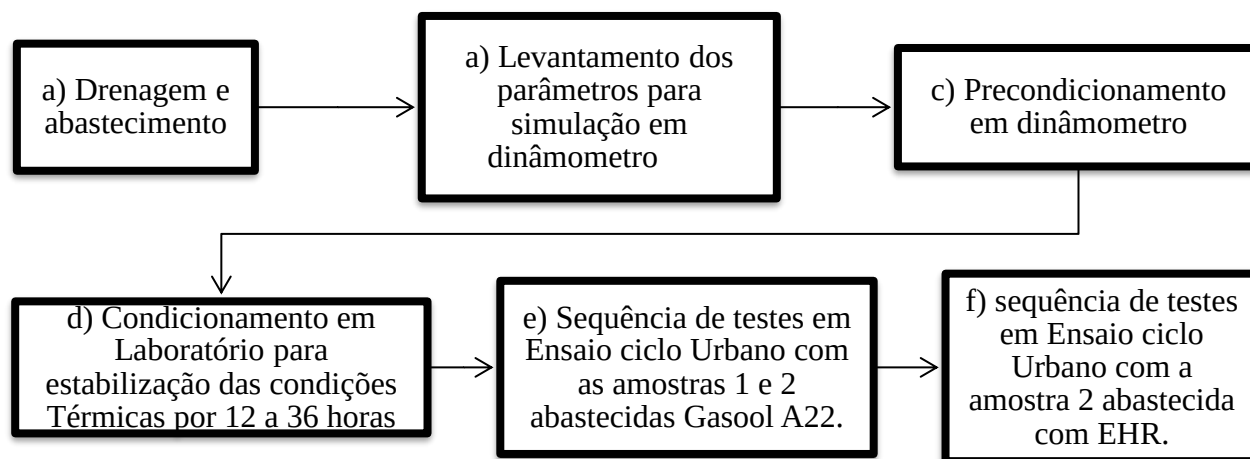


FIGURA 3. 3 – Sequência realizada até início das propostas

- Etapa a) os dois veículos tiveram seu tanque de combustível completamente esgotado para abastecimento com combustíveis padronizados para ensaios de emissões. Na primeira sequência de testes ambos veículos foram abastecidos com uma mistura de 22% de etanol anidro de referência com gasolina padrão emissões. Na segunda sequência, apenas a amostra 2, que é um veículo *flex*, teve novamente o tanque de combustível esgotado e foi abastecido com etanol hidratado de referência. Nos dois veículos, no momento do abastecimento o tanque foi enchido completamente. Maiores detalhes sobre os combustíveis foram descritos em 2.1.3.2 deste trabalho e o detalhamento dos combustíveis usados pode ser visto no item 3.3.
- Etapa b) após o abastecimento, cada um dos veículos passou pela simulação da resistência ao deslocamento no dinamômetro (*coastdown*) onde os testes foram realizados, para a determinação dos parâmetros A, B e C. Para cada veículo, essa simulação foi repetida, com acréscimo de 10% nos coeficientes de força resistiva para as propostas que simulam a condição atual da legislação brasileira. Para os

dois veículos, com ou sem acréscimo dos 10% dos coeficientes de força resistiva, foi feita a conferência dos parâmetros levantados, no teste conhecido com multi coastdown ou conferência do coastdown, que foi abordado no item 2.1.3.1 deste trabalho.

- Etapa c) Após os levantamentos dos parâmetros, os veículos foram preconditionados. O preconditionamento consiste em realizar as fases 1 e 2 do ciclo de condução urbano (descrito no item 2.1.3.3 deste trabalho), utilizando os coeficientes A, B e C obtidos no *coastdown*.
- Etapa d) Após o preconditionamento, o veículo permaneceu parado, no período de 12 a 36 horas, em área de com temperatura controlada de 20 ° C a 30 ° C para estabilização das condições térmicas. Um novo preconditionamento era realizado antes de se iniciar uma nova proposta. Nesse novo preconditionamento, eram respeitadas todas as condições da proposta que iria iniciar e novamente aguardado o período para estabilização das condições térmicas.
- Etapa e) Na primeira sequência de testes, foram realizadas 4 propostas para cada uma das amostras (P0, P1, P2 e P3), que foram abastecidas com gasolina padrão emissões com 22% de etanol anidro de referência (Gasool A22). Foram realizados três ensaios ciclo urbano, em cada uma das seguintes condições:
 - 1) Proposta 0 (P0) – Ensaios realizados sem acréscimo nos coeficientes de força resistiva e com ar condicionado desligado.
 - 2) Proposta 1 (P1) - Ensaios realizados sem acréscimo nos coeficientes de força resistiva e com ar condicionado do veículo ligado na velocidade máxima do ventilador.
 - 3) Proposta 2 (P2) - Ensaios realizados com acréscimo de 10 % nos coeficientes de força resistiva e com ar condicionado veicular desligado.
 - 4) Proposta 3 (P3) Ensaios realizados sem acréscimo nos coeficientes de força resistiva e com ar condicionado ligado na velocidade intermediária do ventilador.
- Etapa f) No segundo momento, a amostra 2 foi ensaiada com combustível EHR (Etanol hidratado de referência). A amostra 1 não foi ensaiada nessa condição pelo

fato de se tratar de um motor somente a gasolina. Nesse segundo momento, foram realizadas 4 sequências de ensaios ((P0', P1' e P2', idênticas às P0, P1 e P2 e a única alteração é o combustível).

- 1) Proposta 0' (P0') - Ensaios realizados sem acréscimo nos coeficientes de força resistiva e com ar condicionado desligado.
- 2) Proposta 1' (P1') - Ensaios realizados sem acréscimo nos coeficientes de força resistiva e com ar condicionado ligado na velocidade máxima do ventilador.
- 3) Proposta 2' (P2') - Ensaios realizados com acréscimo de 10% nos coeficientes de força resistiva e com ar condicionado automotivo desligado.

Nos ensaios da amostra 2, com EHR, não foram realizados ensaios com o ventilador do ar condicionado ligado na velocidade intermediária, pois não havia tempo suficiente disponível no Laboratório para realização de todos os ensaios previstos e essa proposta foi escolhida para ser excluída.

Para manter as condições de teste constantes, durante o ensaio, as janelas foram mantidas fechadas, exceto no intervalo durante a fase 2 e 3, em que os veículos permaneceram com as janelas abertas. Com o objetivo de uniformar o momento de pressionar o botão para ligar o ar condicionado, em todos os ensaios, a partida foi dada com o ar condicionado já ligado, embora esse fato não defina o momento em que o compressor é acoplado, já que é um parâmetro definido pela estratégia da central eletrônica do veículo. O acoplamento do compressor não foi monitorado.

Nos ensaios realizados com ar condicionado ligado, independente da velocidade do ventilador, a disposição e posição da saída dos difusores de ar foram mantidas iguais.

Um termômetro digital, que foi calibrado para este trabalho, foi colocado em cima do painel para estudo da temperatura interna dos veículos durante o ensaio. O sensor do termômetro foi colocado em um suporte plástico sobre o painel do veículo.

3.2 Combustíveis Utilizados

Os ensaios foram realizados com Gasool A22 (Gasolina padrão emissões com 22% de etanol anidro de referência) e EHR (etanol hidratado o de referência). Os combustíveis usados neste trabalho, os respectivos fabricantes, lotes e certificados são mostrados no ANEXO 1.

O combustível foi preparado conforme ABNT NBR 8689:2012. Misturou-se no total 50 litros de gasolina padrão e 14 L de etanol anidro de referência. Cada veículo foi abastecido com 32 litros de combustível. O teor em volume de EAR (etanol anidro de referência) encontrado para o combustível Gasool preparado para os ensaios deste trabalho, calculado segundo EQUAÇÃO 2.3, foi de $22\% \pm 1\%$. A proveta usada foi a M6918 (certificado está no ANEXO 2).

3.3 Parâmetros de coastdown

Os coeficientes de força resistiva e tempos de pista corrigidos foram obtidos conforme ABNT NBR 10312:2014. Estes dados não serão detalhados por questões de confidencialidade.

3.4 Equipamentos e Sistemas de Medição Utilizados

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Emissões Veiculares do Instituto SENAI de Tecnologia Automotiva (LEV IST AUTO), localizado no Centro de Inovação e Tecnologia SENAI campus CETEC.

Para a realização dos ensaios, foram usados os equipamentos e sistemas de medição que fazem parte da infraestrutura do LEV IST AUTO, descritos a seguir:

- Dinamômetro de chassis com rolos de 48”, elétrico, marca Schenck, modelo EMDY 48”, fabricado em 2001.
- Sistema de amostragem por volume constante, marca Pierburg, modelo CVS-CFV 30WT 3D, série nº: 1704, fabricado em 2001.
- Auxílio do condutor (Driver-Aid), marca Pierburg, modelo RPR-FLG, número de série: 092, fabricado em 2001.
- Sistema de analisadores de gás, marca Pierburg, modelo AMA 4000I, número de série: 2062, fabricados em 2001, contendo:
 - 1) Detector por ionização de chama, modelo FID 4000lc, número de série: 503, para análise de hidrocarbonetos totais.
 - 2) Analisador por absorção de raios infravermelhos não dispersivos, modelo IRD 4000lc, número de série: 32452550, para análise de monóxido de carbono e dióxido de carbono.

- 3) Analisador por luminescência química, modelo CLD 4000lc, número de série: 078, para análise de óxidos de nitrogênio

A identificação da concentração dos gases de calibração e seus respectivos certificados se encontram no ANEXO 3.

3.5 Piloto dos ensaios

Todos os ensaios realizados foram pilotados pelo colaborador do LEV – IST AUTO, Matheus Dias Bolognani Ferreira, Engenheiro Mecânico que atua em ensaios de emissões desde junho de 2014. Optou-se por escolher um piloto experiente para realiza todos os ensaios, visando assim diminuir as dispersões dos resultados.

3.6 Cálculos de emissões, consumo e incerteza da medição

Os resultados de emissões foram calculados de acordo com as EQUAÇÕES 2.5 a 2.17 deste trabalho. A incerteza foi calculada segundo o GUM 2008, conforme descrito no item 2.1.4 deste trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo tem como objetivo geral comparar os resultados de emissões e consumo em diferentes propostas (P). No primeiro momento as duas amostras (amostra 1 e 2) foram abastecidas com Gasool A22 e realizou-se três ensaios de emissões veiculares, considerando o ciclo urbano, em cada uma das propostas detalhadas a seguir:

- Ar condicionado automotivo desligado e simulação realizada sem acréscimo nos coeficientes de forças resistivas. Essa foi a proposta inicial, ponto de partida para a comparação de dados e por isso intitulada “P0”.
- Ar condicionado dos veículos ligado, na velocidade máxima do ventilador, sem acréscimo de 10% nos coeficientes da equação de força resistiva. Essa proposta foi intitulada “P1”.
- Acréscimo de 10% nos coeficientes de força resistiva e ar condicionado do carro desligado (P2).
- Ar condicionado ligado na velocidade intermediária do ventilador (P3), sem acréscimo nos coeficientes de força resistiva.

A amostra 2, em um segundo momento, foi ensaiada em propostas análogas às P0, P1 e P2, com a diferença de estar abastecida com EHR. As propostas neste caso foram P0', P1' e P2', respectivamente. Foram realizados 3 ensaios em cada uma das propostas. Todos os ensaios foram realizados no mesmo Laboratório, com o mesmo piloto. Apenas a amostra 2 recebeu novo abastecimento, que ocorreu no término dos ensaios com Gasool A22, seguida de drenagem do combustível e abastecimento com EHR para a nova sequência de testes.

4.1 Temperaturas Registradas durante os ensaios

A temperatura interna do veículo foi registrada no início de cada ensaio, no fim da fase 2, início da fase 3 e fim do ensaio nos ensaios realizados com o ar condicionado automotivo ligado. Vale salientar que o objetivo era realizar os ensaios com a temperatura do laboratório controlada, dentro dos parâmetros da norma ABNT NBR 6601, ou seja, de 20 °C a 30 °C, com a menor variação possível, e sem incidência solar, na tentativa de não ter grandes variações no funcionamento do compressor e para respeitar as condições atuais de ensaio da norma atual. No entanto é fato

conhecido que uma temperatura externa mais elevada e incidência solar demandam maior trabalho do compressor do ar condicionado automotivo, aumentando ainda mais o consumo de combustível.

Os valores de temperatura do laboratório e temperatura no interior do veículo em ensaios da amostra 1 realizados com ar automotivo ligado registrados na proposta P1 são mostrados no QUADRO 4.1 e da proposta P3 no quadro 4.2.

QUADRO 4. 1 – Temperatura média do laboratório e temperatura no interior do veículo durante ensaios com ar condicionado automotivo ligado da amostra 1 – Proposta P1

Réplica	Temperatura média do Laboratório (°C)			Temperaturas - Interior do Veículo (°C)			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Início do Ensaio	Fim fase 2	Início fase 3	Fim Ensaio
1	21,5	21,8	22,0	22,8	17,0	20,5	17,7
2	22,1	23,3	23,9	20,0	17,4	19,5	17,6
3	22,3	22,5	22,7	26,0	17,8	20,0	17,9

QUADRO 4. 2 – Temperatura média do laboratório e temperatura no interior do veículo durante ensaios com ar condicionado automotivo ligado da amostra 1 – Proposta P3

Réplica	Temperatura média do Laboratório (°C)			Temperaturas - Interior do Veículo (°C)			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Início do Ensaio	Fim fase 2	Início fase 3	Fim Ensaio
1	21,9	22,3	22,7	24,4	18,9	21,1	19,4
2	21,7	22,1	22,4	23,9	19,4	21,3	20,0
3	22,6	22,9	23,3	24,0	18,7	20,8	19,3

Os valores de temperatura do laboratório e temperatura no interior do veículo em ensaios da amostra 2 realizados com ar automotivo ligado registrados na proposta P1 são mostrados no QUADRO 4.3 e da proposta P3 no quadro 4.4.

QUADRO 4. 3 – Temperatura média do laboratório e temperatura no interior do veículo durante ensaios com ar condicionado automotivo ligado da amostra 2 – Proposta P1

Temperatura média do Laboratório (°C)			Temperaturas - Interior do Veículo (°C)			
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Início do Ensaio	Fim fase 2	Início fase 3	Fim Ensaio
20,3	20,9	21,7	21,1	11,7	16,8	12,8
23,0	23,1	23,0	25,9	22,8	20,9	20,5
20,0	20,5	21,4	22,3	14,3	18,8	16,8

QUADRO 4. 4 – Temperatura média do laboratório e temperatura no interior do veículo durante ensaios com ar condicionado automotivo ligado da amostra 2 – Proposta P3

Temperatura média do Laboratório (°C)			Temperaturas - Interior do Veículo (°C)			
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Início do Ensaio	Fim fase 2	Início fase 3	Fim Ensaio
22,7	23,0	23,3	21,8	17,6	21,4	18,4
21,4	21,5	21,7	24,1	18,1	21,3	20,0
21,9	22,3	22,7	23,9	18,3	21,1	20,0

Os valores de temperatura do laboratório e temperatura no interior do veículo em ensaios da amostra 2 realizados com ar automotivo ligado registrados na proposta P1' são mostrados no QUADRO 4.5.

QUADRO 4. 5 – Temperatura média do laboratório e temperatura no interior do veículo durante ensaios com ar condicionado automotivo ligado da amostra 2 – Proposta P1'

Temperatura média do Laboratório (°C)			Temperaturas - Interior do Veículo (°C)			
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Início do Ensaio	Fim fase 2	Início fase 3	Fim Ensaio
22,7	23,0	23,3	25,1	15,0	21,8	15,8
21,4	21,5	21,7	25,1	15,2	21,6	16,5
21,9	22,3	22,7	20,7	13,8	19,5	14,8

4.2 Resultados de THC

Os resultados de THC para todos os ensaios realizados são apresentados na TABELA 4.1.

TABELA 4. 1 – Resultados de THC

Réplica	Amostra 1 - Gasool A22				Amostra 2 - Gasool A22				Amostra 2 - EHR		
	THC (g/km)				THC (g/km)				THC (g/km)		
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3	P0'	P1'	P2'
1	0,041	0,037	0,031	0,032	0,038	0,034	0,025	0,032	0,167	0,113	0,102
2	0,026	0,041	0,025	0,034	0,029	0,029	0,026	0,029	0,103	0,105	0,091
3	0,028	0,037	0,030	0,032	0,027	0,032	0,028	0,025	0,110	0,122	0,097
Média	0,032	0,039	0,029	0,033	0,031	0,032	0,026	0,029	0,127	0,113	0,097
Desvio Padrão	0,008	0,003	0,003	0,001	0,006	0,003	0,001	0,003	0,035	0,008	0,005
Incerteza	0,005	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,002	0,020	0,005	0,003
Incerteza Expandida	0,009	0,003	0,004	0,002	0,007	0,003	0,002	0,004	0,040	0,010	0,006
Diferença em relação a P0	-	22%	-9%	3%	-	3%	-16%	-6%	-	-11%	-24%

Embora as amostras sejam veículos fabricados em épocas distintas, diferentes classes de inércia e diferentes motorizações, os níveis de THC emitidos nos ensaios a gasolina apresentaram valores próximos, em torno de 0,030 g/km. Portanto, as diferenças das duas amostras não influenciaram as emissões de hidrocarbonetos nos ensaios com veículos abastecidos com Gasool A22.

Nos ensaios da amostra 1 (GRÁFICO 4.1) observa-se uma tendência de maiores valores de emissão de THC nos ensaios com ar condicionado do veículo ligado (P1 e P3). No entanto, existe uma elevada dispersão dos resultados da proposta P0, devido principalmente ao primeiro ensaio. Desconsiderando o resultado do primeiro ensaio da proposta P0, é observada uma tendência de aumento da emissão de THC nos ensaios com o ar condicionado automotivo ligado. Já para os ensaios com acréscimo de 10% nos coeficientes de força resistiva, não é observado uma tendência de aumento nos valores de THC.

Para amostra 2 (GRÁFICO 4.2 e GRÁFICO 4.3) a dispersão dos valores encontrados para emissão de THC impossibilitam a análise, independente do combustível utilizado. Seria necessário um número maior de ensaios para se verificar as tendências de emissões de THC nas propostas estudadas.

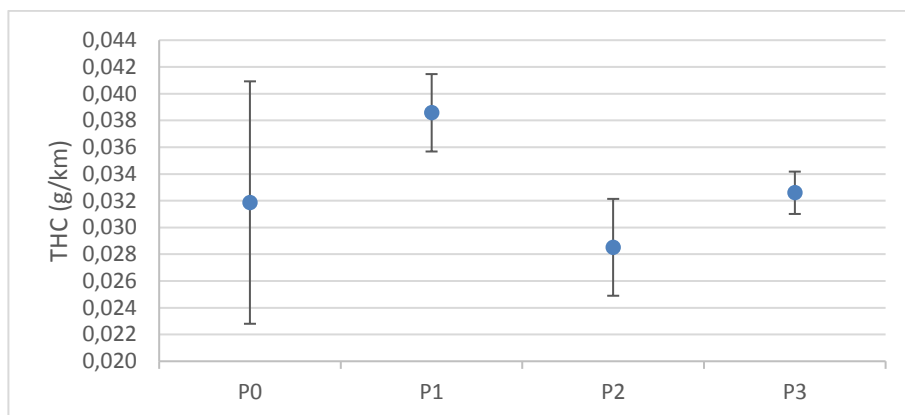


GRÁFICO 4. 1 – Resultados de THC – Amostra 1

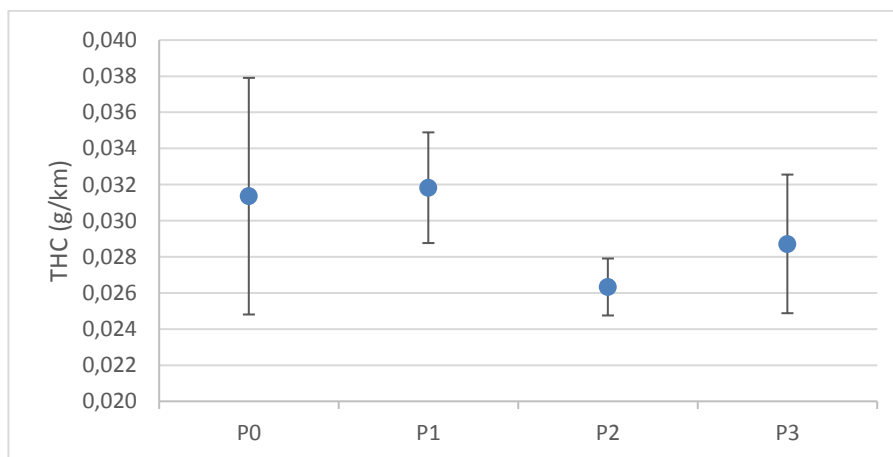


GRÁFICO 4. 2 – Resultados de THC – Amostra 2 – Gasool A22

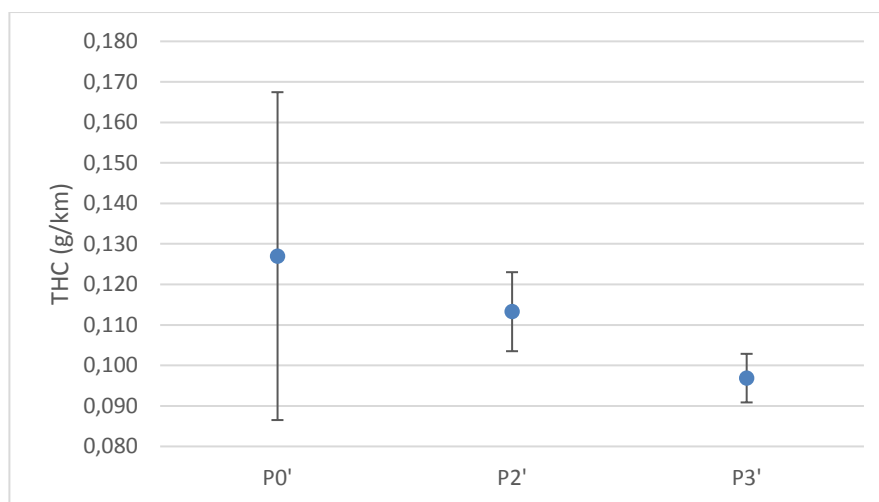


GRÁFICO 4. 3 – Resultados de THC – Amostra 2 – EHR

4.3 Resultados de NO_x

Os resultados para o composto NO_x, em todas as propostas é apresentado na TABELA 4.2:

TABELA 4. 2– Resultados de NO_x

Amostra 1 - Gasool A22					Amostra 2 - Gasool A22				Amostra 2 - EHR		
Réplica	NO _x (g/km)				NO _x (g/km)				NO _x (g/km)		
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3	P0'	P1'	P2'
1	0,071	0,061	0,038	0,063	0,079	0,069	0,094	0,068	0,055	0,061	0,064
2	0,047	0,057	0,050	0,060	0,087	0,084	0,079	0,072	0,046	0,045	0,054
3	0,036	0,059	0,046	0,061	0,053	0,083	0,076	0,071	0,038	0,049	0,066
Média	0,051	0,059	0,044	0,062	0,073	0,078	0,083	0,070	0,046	0,052	0,061
Desvio Padrão	0,018	0,002	0,006	0,001	0,018	0,009	0,010	0,003	0,009	0,009	0,006
Incerteza	0,011	0,001	0,004	0,001	0,010	0,005	0,006	0,001	0,005	0,005	0,004
Incerteza Expandida	0,021	0,002	0,007	0,001	0,021	0,010	0,011	0,003	0,010	0,010	0,007
Diferença em relação a P0	-	16%	-14%	22%	-	7%	14%	-4%	-	13%	33%

De forma análoga ao que ocorreu com os resultados de emissões de THC houve uma elevada dispersão dos resultados, conforme pode ser visto na GRÁFICO 4.4, GRÁFICO 4.5 e GRÁFICO 4.6. Para os resultados de NO_x da amostra 1, mais uma vez principalmente devido ao primeiro ensaio da proposta P0, a elevada dispersão dificulta a análise dos resultados. Descartando-se o primeiro ensaio da proposta P0, observa-se diferença estatística entre os resultados e um maior valor de emissões de NO_x nos ensaios com o veículo com ar condicionado ligado. Nos ensaios da amostra 2 não é encontrada diferença estatística entre os resultados.

Os dados deste estudo diferem da literatura, que apontam para uma grande elevação nos valores do NO_x, da ordem de 50%. Uma razão para este fato pode ser a temperatura ambiente do laboratório ter se mantido entre 20 °C e 24 °C e sem incidência solar. Neste estudo observou-se que mesmo com o ar condicionado automotivo ligado limite para o NO_x na fase L-6 do PROCONVE é 0,08 g/km e apenas na proposta P2 da amostra 2 são obtidos valores médios maiores que o limite. A amostra 1 é da fase L-4 onde o limite de emissão de NO_x era de 0,25 g/km.

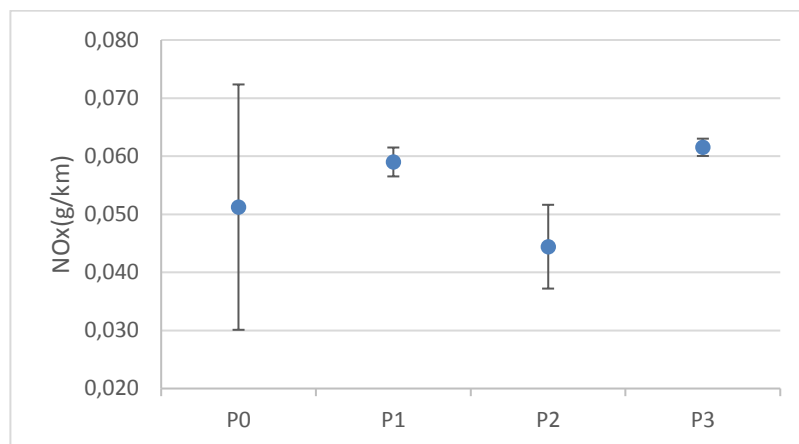


GRÁFICO 4. 4 - Resultados de NOx – Amostra 1

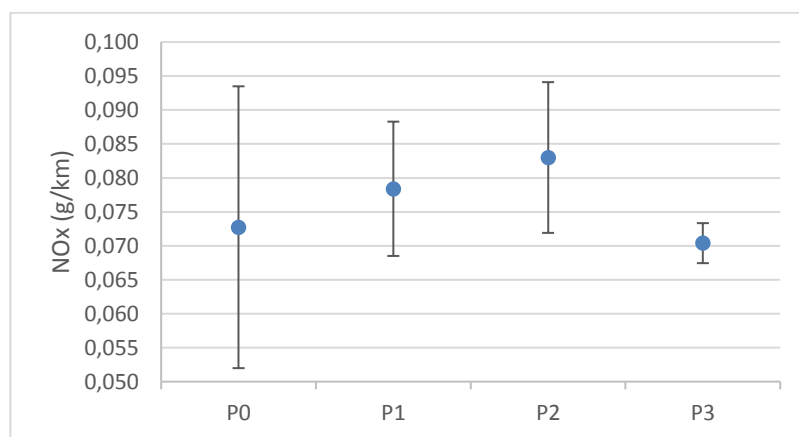


GRÁFICO 4. 5 - Resultados de NOx – Amostra 2 – Gasool A22

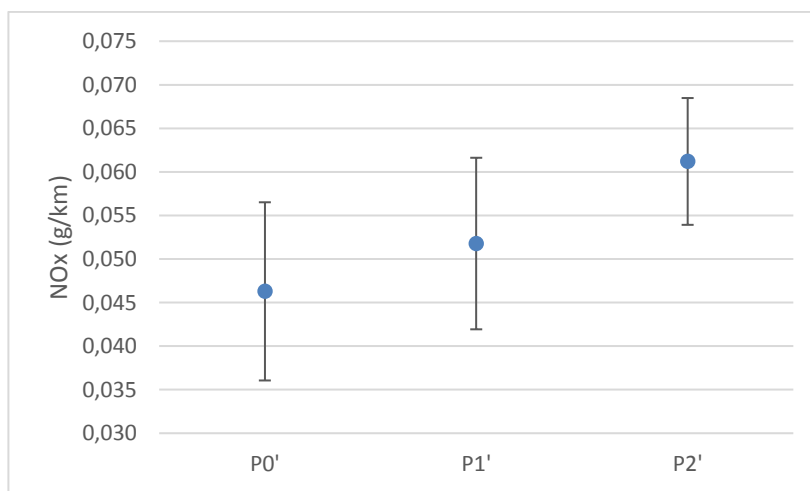


GRÁFICO 4. 6 - Resultados de NOx – Amostra 2 – EHR

4.4 Resultados de CO

Os resultados de emissões de CO são apresentados na TABELA 4.3 abaixo:

TABELA 4.3 - Resultados de CO

Réplica	Amostra 1 - Gasool A22				Amostra 2 - Gasool A22				Amostra 2 - EHR		
	CO (g/km)				CO (g/km)				CO (g/km)		
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3	P0'	P1'	P2'
1	0,101	0,319	0,234	0,305	0,415	0,301	0,295	0,345	0,940	0,695	0,710
2	0,101	0,372	0,203	0,256	0,254	0,288	0,267	0,206	0,718	0,683	0,509
3	0,191	0,327	0,205	0,239	0,299	0,311	0,239	0,250	0,659	0,617	0,536
Média	0,131	0,339	0,214	0,267	0,323	0,300	0,267	0,267	0,773	0,665	0,585
Desvio Padrão	0,052	0,028	0,017	0,035	0,083	0,012	0,028	0,071	0,148	0,042	0,109
Incerteza	0,030	0,016	0,010	0,020	0,048	0,007	0,016	0,041	0,086	0,024	0,063
Incerteza Expandida	0,060	0,033	0,020	0,040	0,096	0,014	0,033	0,082	0,171	0,049	0,126
Diferença em relação a P0	-	159%	63%	104%	-	-7%	-17%	-17%	-	-14%	-24%

Nos ensaios da amostra 1, houve aumento na emissão de CO em todas as propostas em relação à proposta P0, sendo maior nas propostas com o ar condicionado do veículo ligado quando com o acréscimo de 10% nas forças resistivas. O aumento de CO com o uso do ar condicionado está de acordo com o que foi proposto pelas referências, como nos estudos de BARBUSSE, CLODIC e ROUMÉGOUX (1997) e LEE *et al* (2012). Nas referências, no entanto, não foi considerado o ciclo FTP-75 e aumento percentual na emissão de CO foi maior.

Já para a amostra 2, ocorreu uma queda na emissão de CO nas propostas com o uso do ar condicionado, não estando de acordo com os resultados encontrados na bibliografia.

O aumento nos valores de emissões de CO em nenhum dos ensaios ultrapassou os limites previstos na fase L-6 do PROCONVE, que é 1,3 g/km. Os limites vigentes na fase L-4, que rege os limites para a amostra 1 é 2,0 g/km de CO. O uso do ar condicionado não fez os limites de CO serem ultrapassados.

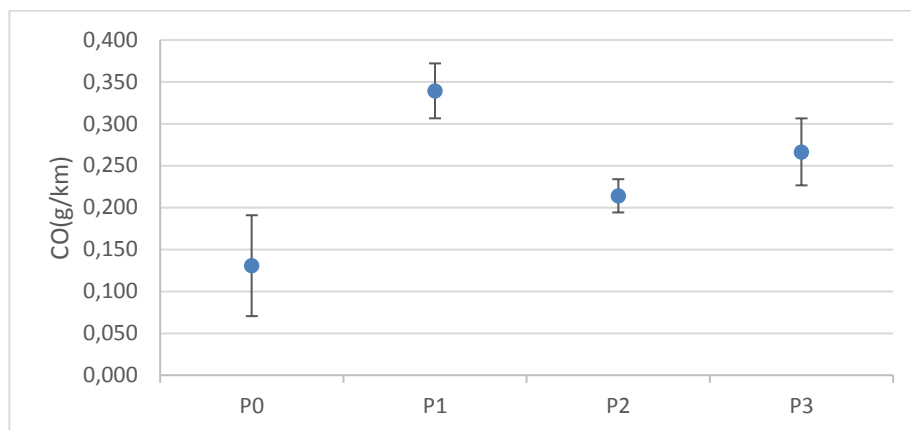


GRÁFICO 4. 7 - Resultados de CO – Amostra 1

De forma semelhante ao encontrado para as emissões de THC e NOx, os valores de emissões de CO nos ensaios realizados na amostra 2, devido à elevada dispersão, não apresentam diferença estatística. Os resultados com suas incertezas podem ser vistos na GRÁFICO 4.8 e GRÁFICO 4.9.

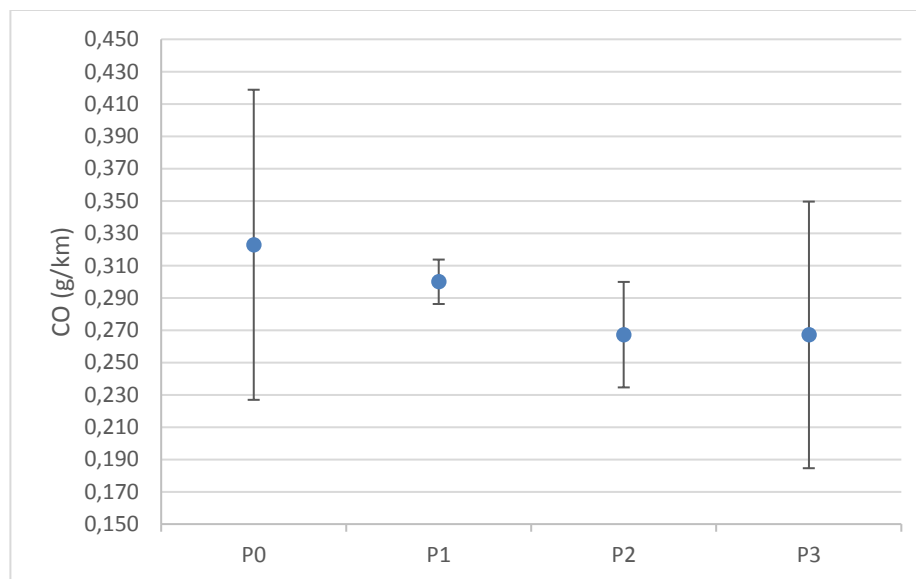


GRÁFICO 4. 8 - Resultados de CO – Amostra 2 – Gasool A22

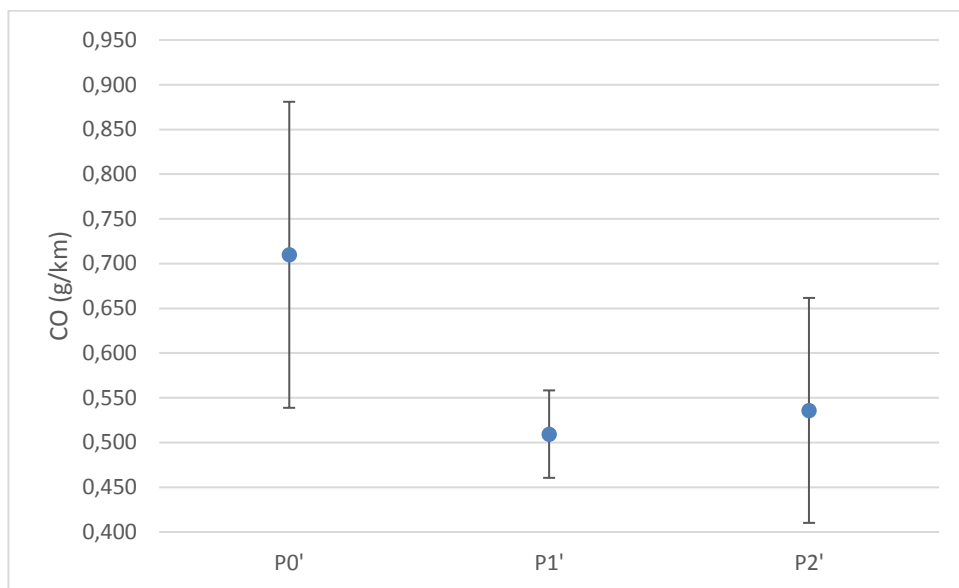


GRÁFICO 4. 9 - Resultados de CO – Amostra 2 – EHR

4.5 Resultados de CO₂ e consumo de combustível

Os resultados de CO₂ dos ensaios realizados neste trabalho são apresentados na TABELA 4.4.

TABELA 4. 4 – Resultados de CO₂

Amostra 1 - Gasool A22					Amostra 2 - Gasool A22				Amostra 2 - EHR		
Réplica	CO ₂ (g/km)										
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3	P0'	P1'	P2'
1	194,3	229,5	199,1	226,8	151,4	176,0	154,9	170,7	145,5	173,6	150,5
2	191,5	229,2	199,4	224,1	150,6	173,8	153,9	168,0	145,5	174,8	149,6
3	193,9	232,4	199,7	223,3	151,1	172,0	156,3	167,6	146,0	169,4	151,4
Média	193,3	230,4	199,4	224,7	151,1	173,9	155,0	168,8	145,7	172,6	150,5
Desvio Padrão	1,5	1,8	0,3	1,8	0,4	2,0	1,2	1,7	0,3	2,8	0,9
Incerteza	0,9	1,0	0,2	1,1	0,2	1,2	0,7	1,0	0,2	1,6	0,5
Incerteza Expandida	1,8	2,1	0,3	2,1	0,5	2,3	1,4	1,9	0,4	3,2	1,0
Diferença em relação a P0	-	19%	3%	16%	-	15%	3%	12%	-	18%	3%

Os resultados de CO₂, autonomia e consumo apresentam comportamento geral semelhante. O consumo de combustível é calculado pelo método de balanço de carbono, conforme EQUAÇÃO 2.14. A partir do consumo, calcula-se a autonomia, usando a EQUAÇÃO 2.15. A parcela mais significativa do cálculo do método de balanço de carbono é a emissão de CO₂. Portanto o consumo apresenta tendências semelhantes à emissão deste gás. Os resultados de consumo para os ensaios realizados neste trabalho são mostrados da TABELA 4.5.

TABELA 4. 5 – Resultados de Consumo de Combustível

Réplica	Amostra 1 - Gasool A22				Amostra 2 - Gasool A22				Amostra 2 - EHR		
	Consumo (L/100 km)										
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3	P0'	P1'	P2'
1	8,95	10,58	9,18	10,46	7,00	8,12	7,15	7,88	10,49	12,44	10,80
2	8,82	10,57	9,19	10,33	6,95	8,02	7,10	7,75	10,45	12,52	10,71
3	8,94	10,72	9,20	10,29	6,98	7,94	7,21	7,73	10,48	12,14	10,85
Média	8,90	10,62	9,19	10,36	6,97	8,02	7,15	7,78	10,47	12,37	10,79
Desvio Padrão	0,07	0,08	0,01	0,09	0,03	0,09	0,05	0,08	0,02	0,20	0,07
Incerteza	0,04	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,03	0,05	0,01	0,12	0,04
Incerteza Expandida	0,08	0,09	0,01	0,10	0,03	0,11	0,06	0,09	0,02	0,23	0,08
Diferença em relação a P0	-	19%	3%	16%	-	15%	3%	12%	-	18%	3%

Nos ensaios da amostra 1 e amostra 2, com combustível Gasool A22 observou-se a tendência de maior consumo de combustível em relação à proposta P0 nos ensaios realizados com ar condicionado ligado na velocidade máxima, seguido dos ensaios com ar condicionado ligado com o ventilador na velocidade intermediária e por último com o acréscimo de 10% nos coeficientes de forças resistivas. Para os ensaios da Amostra 2 com combustível EHR, onde não foram realizados ensaios com o ventilador na velocidade intermediária, o maior aumento no consumo de combustível ocorreu nos ensaios com o ar condicionado do automóvel ligado.

As diferenças encontradas na emissão de CO₂ e consumo de combustível entre as propostas são significativas. O aumento no consumo de combustível foi de 19% a 15% com o ventilador ligado na velocidade máxima, de 16% a 12% nos ensaios com ar condicionado do veículo ligado com velocidade intermediária, contra apenas 3% para ensaios com acréscimo de 10% nas forças resistivas. Este resultado pode ser visto no GRÁFICO 4.10.

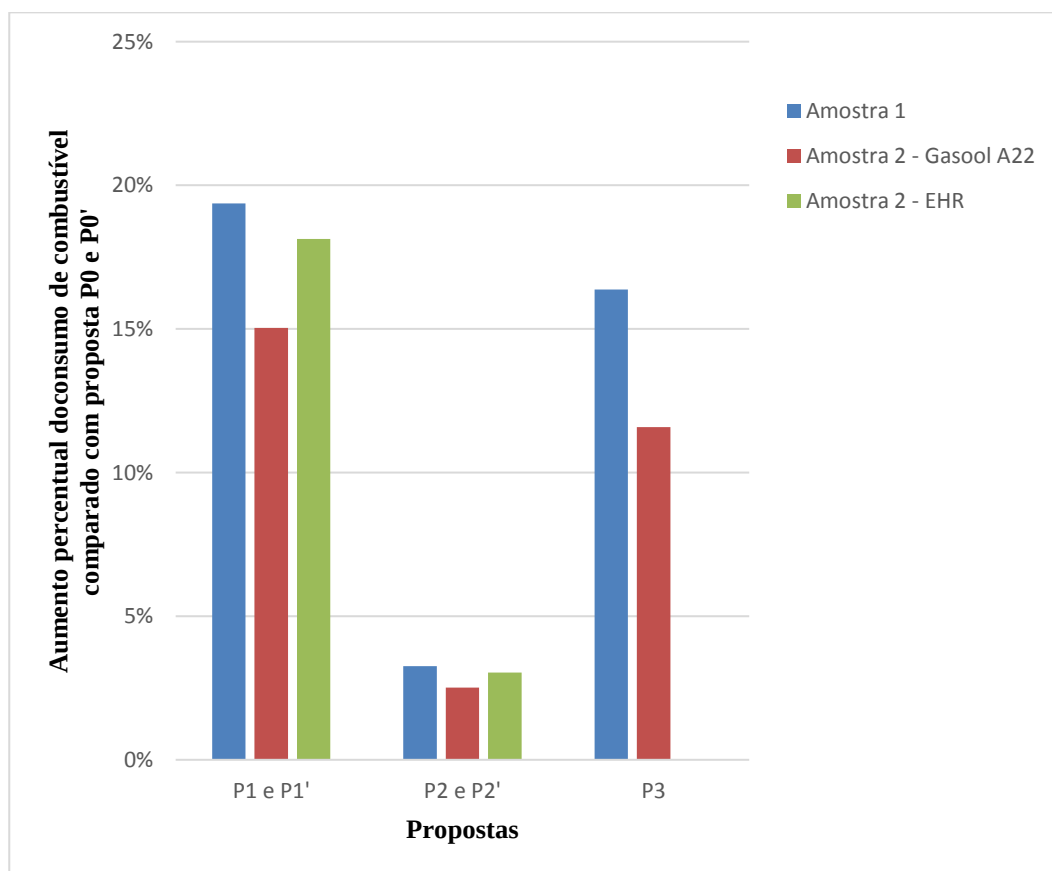


GRÁFICO 4. 10 -Aumento percentual no consumo de combustível, em relação à proposta inicial (P0 ou P0')

As barras mostram as quedas percentuais na autonomia. O primeiro grupo de barras são as propostas com ar condicionado ligado na velocidade máxima, o segundo grupo as propostas com acréscimo de 10% nas forças resistivas para amostra 1, amostra 2 com Gasool A22 e Amostra 2 com EHR respectivamente. O terceiro grupo de barras mostra o proposto com o ar condicionado ligado na velocidade intermediária. Analisando o GRÁFICO 4.10, é notável que as tendências de aumento de consumo não se alteram de forma significativa quando se altera o combustível.

Os valores encontrados para o aumento no consumo de combustível confirmam a tendência apresentada nos estudos encontrados na bibliografia e estão próximos dos 20% de aumento, conforme o estudo do EPA citado por WEAVER e CHAN (1995) e GIAKOUMIS (2017).

De forma geral, a dispersão de resultados de emissões para o CO₂ e consumo foram menores quando comparada com os demais gases analisados. Em todos os ensaios, a maior dispersão de resultados ocorreu nos ensaios com o ar condicionado automotivo ligado, o que leva a concluir que para esses ensaios as condições gerais devem ser bem delimitadas. Além disso, seria interessante um estudo preliminar para seleção da amostra, para escolha de um carro que forneça resultados de emissões mais constantes. Para os ensaios da Amostra 1, a réplica 3 da proposta P1 é a que apresenta a maior média de consumo de combustível. Neste ensaio, a temperatura no interior do veículo estava mais elevada com relação às demais, fato que pode ter exigido um maior trabalho do compressor, acarretando um maior consumo de combustível com consequente maior liberação de CO₂.

A temperatura interna do Laboratório parece não ter influenciado os resultados de emissão de CO₂, embora tenha sido mantida sem grandes variações. As diferenças entre as temperaturas do Laboratório e do interior do veículo não eram elevadas. Buscou-se não se variar essas temperaturas, afim de manter as condições de estabilização das condições térmicas estabelecidas na norma ABNT NBR 6601 e também como uma tentativa de se padronizar os ensaios. É sabido que nestas condições o trabalho realizado pelo compressor do ar condicionado automotivo é menor do que seria, por exemplo, para resfriar um veículo que foi mantido estacionado ao sol em um dia quente. Mesmo nas condições brandas do Laboratório o aumento da emissão de CO₂ foi pelo menos 8% maior nos ensaios com ar condicionado ligado do que com o aumento de 10% nas forças resistivas.

4.6 Considerações finais

É importante salientar que este estudo foi realizado com apenas 2 veículos com características distintas, mas com tecnologias do ar condicionado semelhantes. Seria interessante a realização de um estudo que envolva diferentes tecnologias de ar condicionado que existem no mercado, como por exemplo, o ar condicionado digital.

No Brasil, existe uma tendência na área de emissões veiculares a realizar ensaios seguindo as normas dos Estados Unidos para os ensaios Ciclo Urbano e Ensaio Ciclo Estrada. Segundo essa tendência é esperado a adoção de um ciclo complementar. Se este ciclo complementar for implementado nos moldes em que é realizado nos Estados Unidos, esse fato geraria um grande impacto econômico nos Laboratórios nacionais, que necessitariam de adquirir novos equipamentos de elevado custo para manter as condições de temperatura, simulação de incidência solar, entre outros previstos no ciclo complementar SC03. A viabilidade disto deveria ser estudada a fim de se verificar se o custo envolvido no processo, de fato contribuirá para que os ensaios com ar condicionado sejam mais próximos da realidade.

A alteração do procedimento para veículos equipados com ar condicionado também causaria grande indignação por parte das áreas de desenvolvimento de veículos das montadoras, que vem investindo em tecnologias para redução de consumo para o programa INOVAR-AUTO.

Por outro lado, um procedimento para veículos com ar condicionado que não considere a influência desse equipamento no consumo de combustível pode ser uma barreira para o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias mais econômicas. Os avanços tecnológicos realizados para se desenvolver modelos de ar condicionado mais econômicos não serão mensurados nos ensaios de emissões veiculares já que estes não são ligados durante os testes. Os esforços das montadoras por veículos mais econômicos é toda voltada para os resultados que podem ser mensurados em testes de emissões, pois é através destes ensaios que são mensurados os dados de consumo dos veículos participantes do programa. Modificações realizadas nos veículos que não pode ser percebido nestes testes, não tem grande incentivo para se desenvolver. Neste processo, as políticas de controle ambiental perdem a eficiência por não poder medir corretamente o que de fato é lançado de poluentes na atmosfera quando o ar condicionado automotivo está ligado. O consumidor final do veículo também é prejudicado e se sente frustrado por não conseguir o consumo de combustível que consta nos selos de eficiência energética. Por exemplo, para a amostra 2, segundo o selo do CONPET, a autonomia esperada é de 12,5 km/L no ciclo urbano utilizando

Gasool A22 e 10,4 km/L usando o etanol hidratado. Nos ensaios realizados neste trabalho, a autonomia obtida conforme EQUAÇÃO 2.16 (essa correção é feita para a declaração dos resultados do selo de eficiência energética) para a amostra 1 foi em média 9,77 km/L com gasolina e 6,51 com etanol nas propostas em que o ar condicionado foi ligado na velocidade máxima do ventilador. É claro que existem tolerâncias entre os valores declarados e aqueles obtidos, sendo influenciados por outros fatores que podem interferir no resultado. Mesmo levando isso em consideração, as diferenças dos valores declarados com os obtidos são significativas.

A legislação nacional deve evoluir de forma que mostre resultados mais próximos da realidade, contribuindo com as políticas ambientais e com o consumidor final e ainda promovendo incentivo ao desenvolvimento tecnológico por parte da indústria automotiva.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos não possibilitam a análise do objetivo propostos de se verificar a influência do ar condicionado do veículo nas emissões veiculares para THC, NO_x e CO. Os valores baixos de emissões desses veículos aliado, gerou dispersões que inviabilizaram a análise. Os valores de emissões de THC, NO_x e CO da amostra 1 são maiores nos ensaios realizados com o ar condicionado do automóvel ligado. Já nos ensaios da amostra 2, os valores de THC, CO e NO_x não apresentam diferença estatística considerável, não permitindo maiores conclusões. Seria interessante realizar estudos prévios para se testar a repetibilidade dos resultados de emissões dos veículos, para encontrar resultados com menores dispersões. Outra alternativa, seria buscar veículos com valores de emissões mais elevados, afim de diminuir a dispersão de resultados. Os valores médios obtidos para emissão de CO não ultrapassam os limites na fase L-6 do PROCONVE. Já para o NO_x os valores médios em apenas uma das propostas ultrapassam os limites da fase L-6 do PROCONVE. Para o NO_x, esses resultados não estão de acordo com a bibliografia. As temperaturas de 20 °C e 24 °C do laboratório e sem incidência de radiação solar do laboratório se difere dos estudos da bibliografia e o que pode explicar a divergência para as tendências nas emissões de THC, NO_x e CO.

Para emissões de CO₂ e por consequência os resultados de autonomia e consumo de combustível, os objetivos propostos foram cumpridos, fornecendo informações importantes para o desenvolvimento de novos procedimentos que levem a ciclos de consumo e emissões mais próximos da realidade. Ainda com relação às emissões e ao consumo de combustível, alguns aspectos importantes da pesquisa podem ser destacados: Os resultados de emissão de CO₂ e consumo de combustível mostram diferenças significativas para as condições analisadas, indicando a necessidade de se incluir nas normas a influência do ar condicionado dos veículos. O aumento no consumo de combustível foi de 19% a 15% com o ventilador ligado na velocidade máxima, de 16% a 12% nos ensaios com ar condicionado do veículo ligado com velocidade intermediária, contra apenas 3% para ensaios com acréscimo de 10% nas forças resistivas, como considerado atualmente pela norma ABNT NBR 6601. As maiores velocidades do ventilador, aumentaram o consumo de combustível, conforme proposto por GAURAV e KUMAR (2015).

É importante salientar também que foi constatado que as tendências de aumento de consumo de combustível não se alteraram de forma significativa quando se alterou o combustível.

Finalmente, é importante ressaltar que o desenvolvimento de estudos que visem incluir todos os itens do veículo que contribuem para o aumento do consumo de combustível é de vital importância para que o avanço da legislação nacional possa promover o desenvolvimento tecnológico através de ensaios mais próximos da realidade brasileira.

6. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Este estudo foi realizado com apenas duas amostras, com tecnologias de ar condicionado semelhante. Seria interessante estudos com veículos equipados com ar condicionado com tecnologias mais modernas, como com sistemas de controle de malha fechada.

As condições de temperatura aplicadas neste trabalho foram amenas e seria interessante analisar o comportamento de resultados em temperaturas mais altas e ser realizada uma simulação da incidência solar, como as encontradas no Brasil.

Outro estudo importante é considerar aumentos percentuais nos coeficientes da equação de forças resistivas maiores que 10% e verificar se estes se aproximam dos valores de consumo encontrados para os ensaios realizados com o ar condicionado do automóvel ligado.

Outros ciclos podem ser incluídos nos testes com ar condicionado, como o ciclo estrada, como foi observado que a maior diferença nos resultados é o consumo.

Um ciclo de emissões alternativo para veículos dotados de ar condicionado poderia ser criado no Brasil. Esse estudo poderia levar em consideração os hábitos do brasileiro quanto ao uso deste acessório e as especificidades podem ser levadas em consideração neste ciclo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), NBR 11481. Veículos rodoviários automotores leves — Medição da emissão evaporativa. Rio de Janeiro, 2014. 10 p.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), NBR 12026. Veículos rodoviários automotores leves - Determinação da emissão de aldeídos e cetonas contidos no gás de escapamento, por cromatografia líquida - Método DNPH. Rio de Janeiro, 2016. 14 p.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), NBR 13992; Gasolina Automotiva – Determinação Do Teor De Álcool Etílico Anidro Combustível. Rio de Janeiro, 2015. 5p.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), NBR 15598 Veículos rodoviários automotores leves - Determinação de etanol não queimado contido no gás de escapamento, por cromatografia gasosa - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016. 10 p.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), NBR 6601; Veículos rodoviários automotores leves — Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento. Rio de Janeiro, 2012. 49p.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), NBR 7024. Veículos rodoviários automotores leves — Medição do consumo de combustível — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2014. 13 p.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 10312; Veículos Rodoviários Automotores Leves – Determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração livre em pista de rolamento e simulação em dinamômetro. Rio de Janeiro, 2014. 13p.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 8689: Veículos Rodoviários Automotores Leves – Combustíveis Para Ensaio – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 4p.

ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). Resolução ANP 21:2009 publicada no DOU em 3 de julho de 2009. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 26/12/2016.

BARBUSSE S.; CLODIC D.; ROUMÉGOUX J.P. Climatization automobile, énergie et environnement. Recherche transport sécurité, nº60, Pg 3-18, 1998.

CETESB (COMPANIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO). Emissão Veicular, Introdução. Disponível em: < <http://veicular.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 13/01/2017.

CONPET (PROGRAMA NACIONAL DA RACIONALIZAÇÃO DO USO DOS DERIVADOS DO PETRÓLEO E DO GÁS NACIONAL). Selo CONPET de Eficiência Energética Veicular. Disponível em:<http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/noticia/selo-conpet-de-eficiencia-energetica-veicular-4.shtml>. Acesso em: 11/01/2017.

DAEMME, LUIZ. Comparativo entre as metodologias tradicionais de medição de emissões veiculares com a técnica FTIR. Tese Especialização em Curso de Especialização em Motores e Combustíveis. Universidade Federal do Paraná, UFPR, 2009.

DIESELNET (ECOPOINT DIESELNET). SFTP-SC03. Disponível em: https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp_sc03.php. Acesso em 10/01/2017.

EPA (United States Environmental Protection Agency). Dynamometer Drive Schedules. Disponível em <<https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>>. Acesso em: 11/03/2017.

EPA (United States Environmental Protection Agency). Regulations for Emissions from Vehicles and Engines. Final Rule for Fuel Economy Labeling of Motor Vehicles: Revisions To Improve Calculation of Fuel Economy Estimates. Disponível em: < <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-fuel-economy-labeling-motor-vehicles-revisions>>. Acesso em: 12/03/2017.

FOX, R.W., MCDONALD, A.T. PRITCHARD, P.J.; “Introdução à Mecânica dos Fluidos”, LTC, 6a ed. (2004).

FRANKLIN,G.F; POWELL, D; ABBAS, E-N. Sistemas de controle para engenharia, 6ª edição. Bookman Editora, 2013, 721 páginas.

GAURAV; KUMAR,R. “Sustainability of Automobile Air- Conditioning System Using Refrigerant R1234yf Instead of R134a”. International Journal of Automotive Engineering Vol. 5, Number 3, Sept 2015. Disponível em: <<http://ijae.iust.ac.ir/article-1-326-en.pdf>>. Acesso em: 11/03/2017.

GIAKOUMIS, E.G. Driving and Engine Cycles, 1ed. Springer International Publishing, 2016.

GOVERNO DO ESTADO DA CALIFÓRNIA, EUA. Air Resources Board. Disponível em: <<https://www.arb.ca.gov/msprog/mac/mac0901/mac0901.pdf>>. Acesso em: 11/03/2017.

HOLLER, F. J; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R. Princípios de análise instrumental. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HORIBA AUTOMOTIVE TEST SYSTEMS. Engine Emission Measurement Handbook. SAE International and Horiba Ltd. Maio, 2013. 190 p.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Programa de controle de emissões veiculares (Proconve). Disponível em: https://www.ibama.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=720&Itemid=602. Acesso em:10/01/2017.

INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia);. Avaliação de dados de medição: Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008. Duque de Caxias, RJ:, 2012. 141 p.

KAYNAKLI, O.; HORUZ, I. An experimental analysis of automotive air conditioning system. International Community of Heat and Mass Transfer, v. 30. n.2, p. 273-284, 2003.

LEE, D., JOHNSON, J. JINPENG, L. NOVAK, k. ZIETSMAN, J. COMPARISONS BETWEEN VEHICULAR EMISSIONS FROM REAL-WORLD IN-USE TESTING AND EPA MOVES ESTIMATION. Technical Report: September 2009–March 2012. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.255.6341&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 09/03/2017.

MDIC (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR); INMETRO (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA). Portaria n. ° 522, de 31 de outubro de 2013. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002039.pdf>>. Acesso em: 27/12/2016.

MDIC (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR). Conheça o INOVAR-AUTO. Disponível em: http://inovarauto.mdic.gov.br/InovarAuto/public/inovar.jspx?_adf.ctrl-state=rxuq1mfm1_9. Acesso em: 11/01/2017.

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). PROCONVE: Programa De Controle De Poluição Do Ar Por Veículos Automotores. Disponível: <
http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf>. Acesso em: 11/01/2017.

MOCK, P.; KUHLEIN, J.; TIETGE, W.; FRANCO, V. BANDIVADEKAR, A; GERMAN, J. The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU. International Council on Clean Transportation Europe. 20 p. Disponível em: <
http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_WLTP_EffectEU_20141029.pdf>. Acesso em: 13/01/2017.

MOCK, P.; GERMAN, J. The future of vehicle emissions testing and compliance. How to align regulatory requirements, customer expectations, and environmental performance in the European Union. International Council on Clean Transportation Europe, 36 p, 2015. Disponível em: <
http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_future-vehicle-testing_20151123.pdf>.

MOCK, P.; GERMAN, J.; BANDIVADEKAR, A.; RIEMERSMA, I. Discrepancies between type-approval and “real-world” fuel-consumption and CO₂ values. International Council on Clean Transportation Europe. 13 p. Disponível em: <
http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU_fuelconsumption2_workingpaper_2012.pdf>. Acesso em: 13/01/2017.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. Princípios de termodinâmica para engenharia. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

OGATA, K. Engenharia de controle moderno. 4. ed. São Paulo: Prentice-Hall do Brasil, 2003.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei Nº 12.715, DE 17 DE SETEMBRO DE 2012. Disponível em: <
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12715.htm>. Acesso em: 11/01/2017.

PUJATTI, F.J.P. Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento eletrônico para motores de ignição por centelha. (UFMG, 31 de Agosto, 2007). Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/1029/browse?value=Fabricio+Jose+Pacheco+Pujatti&type=author>. Acesso em: 09/03/2017.

ROUJOL, S., JOUNARD, R., “Influence of passenger car auxiliaries on pollutant emission factors within the Artemis model” *Atmospheric Environment* 43. 2009. pp. 1008- 1014.

SOLTIC, P.; WEILENMANN, M. Partitioning of NO_x emissions for gasoline passenger cars and light duty trucks, 11th International Symposium, Transport and Air Pollution, Graz, Austria, 2002. Pg 19–21.

WEAVER, C.S. AND L.M. CHAN. “Company Archives” Multiple Sources. Engine, Fuel and Emissions Engineering, Inc., Sacramento, California. 1995.

ANEXO 1 – COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS NOS ENSAIOS

Combustível	Fabricante	Lote
Gasolina de Referência L6	Petrobras	12/2015
Etanol Hidratado de Referência	Química Del Monte	135
Etanol Anidro de Referência	Química Del Monte	606

ANEXO 2 – CERTIFICADO DA PROVETA USADA NOS TESTE DE TEOR ALCOOLICO



Distribuidor exclusivo
no Brasil de Vidraria
para Laboratório
SCHOTT

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO: M 6918

F/L: 1/1

Contratante: S.O.S. Lab. Ltda.

Rua Castro Caldas nº 677 - Pde. Eustaquio - Belo Horizonte - MG

Solicitante: Cetec Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. Jose Candido da Silveira, 2000 - Belo Horizonte - MG

IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL: Objeto de Calibração: Proveta Graduada
Nº de Série: M 6918 Fabricante: Laborglas Modelo: Não Consta
Nº de Identificação: Não Consta Divisão de Escala: 1 mL Valor Nominal: 100 mL

MÉTODO DE CALIBRAÇÃO

Calibração por gravimetria, pesada por diferença, segundo o procedimento - laborglas/012 rev. 15/11, baseada na Norma NBR 3119 publicação 1989 e ASTM E 542 publicação 2007

CONDIÇÕES AMBIENTAIS:

Temperatura do Ar: 20,6 °C ± 0,1 °C

Umidade Relativa do Ar: 54% ± 2%

Pressão Atmosférica: 929,2 hPa ± 1,8 hPa

Local da Calibração: Laboratório de Metrologia - Laborglas

Data da Calibração: 09/12/2011

Data da Emissão do Certificado: 13/12/2011

RASTREABILIDADE:

Picnômetro de Vidro: Padrão 20/10 - Certif. Nº 0946/2010 - FGG (RBC) - Calibrado em 23/06/10 - Próxima em 23/06/13

Higrômetro: Padrão 12/11 - Certif. Nº LV 2886/11 - VISOMES (RBC) - Calibrado em 08/02/11 - Próxima em 08/02/14

Barômetro: Padrão 11/08 - Certif. Nº PS-08-001/08- SETTING (RBC) - Calibrado em 01/08/08 - Próxima em 01/08/13

Balança Eletrônica: Padrão 23/11 - Certif. Nº 88480 - ABCP (RBC) - Calibrado em 28/02/11 - Próxima em 28/02/12

Padrão 9/11 - Certif. Nº 89572 - ABCP (RBC) - Calibrado em 19/10/11 - Próxima em 19/10/12

Termômetro: Padrão 01/11 - Certif. Nº LV 27913/11 - VISOMES (RBC) - Calibrado em 31/10/11 - Próxima em 31/10/13

Padrão 18/10 - Certif. Nº T0786/2010 - LABELO / PUCRS (RBC) - Calibrado em 07/06/10 - Próxima em 07/06/12

Padrão 21/10 - Certif. Nº T1406/2010 - LABELO / PUCRS (RBC) - Calibrado em 27/09/10 - Próxima em 27/09/12

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO:

Valor do Volume Nominal (mL)	Valor do Volume Medido (mL)	Erro (mL)	Incerteza Expandida do Volume Medido (mL)	Fator de Abrangência (K)
10	10,07	-0,07	0,06	4,53
50	50,11	-0,11	0,06	4,53
100	99,99	0,01	0,81	4,53


Mº Socorro A. S. Martins
Supervisora Técnica

Observações

1 - Valor do volume medido: Resultado obtido da média aritmética de três medidas.

2 - A incerteza expandida relatada é baseada em uma incerteza padronizada combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95%.

3 - Este certificado é válido exclusivamente para o objeto calibrado, descrito nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer outros, mesmo que similares.

4 - Somente terá validade o certificado em sua totalidade de folhas. Não é permitida a reprodução parcial deste certificado.

metrologia@laborglas.com.br

ANEXO 3 – GASES DE CALIBRAÇÃO UTILIZADOS

- 1) Detector por ionização de chama, modelo FID 4000lc, número de série: 503, para análise de hidrocarbonetos totais. Para calibração desse analisador, para análise de dióxido de carbono, foram usados os seguintes gases, produzidos e certificados pela White Martins, conforme o QUADRO abaixo:

Concentrações dos gases padrão de CO ₂ e certificados	
Concentração (%mol/mol)	Certificado
0,9522	41556974
0,937	41083924
2,85	41411570

Para calibração desse analisador, para análise de monóxido de carbono, foram usados os seguintes gases, produzidos e certificados pela White Martins, exibidas as concentrações no QUADRO abaixo:

Concentrações dos gases padrão de CO e certificados	
Concentração (micromol/mol)	Certificado
0,9522	41556974
0,937	41083924
2,85	41411570

- 2) Analisador por absorção de raios infravermelhos não dispersivos, modelo IRD 4000lc, número de série: 32452550, para análise de monóxido de carbono e dióxido de carbono. No QUADRO a seguir são mostrados os gases usados para calibração desse analisador, produzidos e certificados pela White Martins:

Concentrações dos gases padrão de NOx e certificados

Concentração (micromol/mol)	Certificado
46,8	41411123
189,2	41400021
467	41155803
969	41253108

- 3) Analisador por luminescência química, modelo CLD 4000lc, número de série: 078, para análise de óxidos de nitrogênio. Os gases para calibração deste analisador foram produzidos e certificados pela White Martins e são mostrados no QUADRO abaixo:

Concentrações dos gases padrão de C₃H₈ e certificados

Concentração (micromol/mol)	Certificado
46,8	41411123
189,2	41400021
467	41155803
969	41253108