



**Universidade Estadual do Centro-Oeste**

**CAMILO BASTOS RIBEIRO**

**ESTUDO DO DESEMPENHO E DAS EMISSÕES  
GASOSAS DE MOTORES NÃO-RODOVIÁRIOS DE  
PEQUENO PORTE OPERANDO COM GASOLINA E  
ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO COMBUSTÍVEL (AEAC)  
MISTURADOS EM DIFERENTES PROPORÇÕES**

**MESTRADO EM  
BIOENERGIA**

**GUARAPUAVA – PR**

**2017**

**CAMILO BASTOS RIBEIRO**

**ESTUDO DO DESEMPENHO E DAS EMISSÕES GASOSAS DE MOTORES NÃO-RODOVIÁRIOS DE PEQUENO PORTE OPERANDO COM GASOLINA E ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO COMBUSTÍVEL (AEAC) MISTURADOS EM DIFERENTES PROPORÇÕES**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, área de concentração em Biocombustíveis e Energias Renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Waldir Nagel Schirmer

**Orientador**

**GUARAPUAVA**

**2017**

**CAMILO BASTOS RIBEIRO**

**ESTUDO DO DESEMPENHO E DAS EMISSÕES GASOSAS DE MOTORES NÃO-  
RODOVIÁRIOS DE PEQUENO PORTE OPERANDO COM GASOLINA E ÁLCOOL  
ETÍLICO ANIDRO COMBUSTÍVEL (AEAC) MISTURADOS EM DIFERENTES  
PROPORÇÕES**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, área de concentração em Biocombustíveis e Energias Renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Edson Tomaz – UNICAMP

Prof. Dr. Everson do Prado Banczek – UNICENTRO

Prof. Dr. Waldir Nagel Schirmer - UNICENTRO

**Orientador**

**GUARAPUAVA-PR**

**2017**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Arilton e Mônica, que me deram todo o suporte para chegar até aqui;

A minha namorada, Bruna, pela companhia e incentivo em todas as horas;

Ao professor e orientador, Waldir Nagel Schirmer, pela paciência e pelos ensinamentos no decorrer do trabalho;

A professora Kelly Geronazzo Martins, pela contribuição valiosa na parte estatística do trabalho;

Ao pessoal da central de análises da Unicentro (campus CEDETEG), que sempre estiveram dispostos à ajudar no desenvolvimento dessa pesquisa;

Aos amigos do GB<sub>3</sub> pesquisas e do mestrado, em especial ao Gustavo Scaburi, Guilherme Pavana e Matheus Gueri, que acompanharam e auxiliaram no decorrer do trabalho;

A IPIRANGA S.A., pela doação dos combustíveis utilizados na pesquisa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil), no âmbito da Chamada MCTI/CNPQ/Universal 14/2014, pelo recurso financeiro ao projeto.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida no decorrer do trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>2</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1 Poluição Atmosférica e os padrões nacionais de qualidade do ar</b> .....	<b>3</b>
3.1.1 <i>Natureza das fontes de poluição atmosférica</i> .....	3
3.1.2 <i>Principais poluentes atmosféricos</i> .....	4
3.1.3 <i>Padrões Nacionais de Qualidade do Ar</i> .....	6
<b>3.2 A matriz energética</b> .....	<b>7</b>
<b>3.3 Os combustíveis e biocombustíveis no Brasil</b> .....	<b>9</b>
3.3.1 <i>Diesel</i> .....	10
3.3.2 <i>Gás natural veicular (GNV)</i> .....	10
3.3.3 <i>Gasolina</i> .....	11
3.3.4 <i>Biodiesel</i> .....	12
3.3.5 <i>Etanol</i> .....	12
<b>3.4 Programa de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis (PMQC)</b> .....	<b>13</b>
<b>3.5 Motores do ciclo Otto</b> .....	<b>14</b>
<b>3.6 Emissões de poluentes atmosféricos em motores do ciclo Otto</b> .....	<b>16</b>
<b>3.7 Análise de gases</b> .....	<b>19</b>
3.7.1 <i>Cromatografia gasosa</i> .....	19
3.7.2 <i>Analisadores automáticos</i> .....	19
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1 Misturas de combustíveis e análises físico-químicas</b> .....	<b>20</b>
<b>4.2 Características e montagem dos equipamentos para os ensaios de combustão</b> .....	<b>21</b>
<b>4.4 Verificação do consumo e desempenho dos motores</b> .....	<b>23</b>
<b>4.5 Análises estatísticas do experimento</b> .....	<b>25</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>26</b>
<b>5.1 Análises físico-químicas das misturas de gasolina e AEAC</b> .....	<b>26</b>
5.1.1 <i>Controle de qualidade</i> .....	26
5.1.2 <i>Controle da composição química</i> .....	27
<b>5.2 Avaliação das emissões gasosas variando a potência do motor, valores de lambda (<math>\lambda</math>), mistura AEAC-gasolina e carga aplicada aos motores</b> .....	<b>28</b>
5.2.1 <i>Emissões de HC e CO - Motor de 13hp</i> .....	28
5.2.2 <i>Correlação entre os dados de emissões dos motores de 13 e 6,5 hp</i> .....	32

<b>5.3 Avaliação do desempenho dos conjuntos moto-geradores .....</b>	<b>33</b>
5.3.1 <i>Consumos mássico, específico e energético e eficiência do sistema – motor de 13hp .....</i>	33
5.3.2 <i>Correlação entre os dados de desempenho dos motores de 13 e 6,5 hp .....</i>	35
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>42</b>
<b>8. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Os quatro tempos de funcionamento de motor do ciclo Otto.....	15.
<b>Figura 2</b> – Influência do $\lambda$ na geração de HC, CO e NOx.....	17.
<b>Figura 3</b> – Sonda no analisador de gases inserida no escapamento do motor.....	22.
<b>Figura 4</b> – Emissões de HC variando o teor de AEAC na gasolina e carga aplicada ao sistema, em condições de $\lambda > 1$ (a), $\lambda = 1$ (b) e $\lambda < 1$ (c).....	29.
<b>Figura 5</b> – Emissões de CO variando o teor de AEAC na gasolina e carga aplicada ao sistema, em condições de $\lambda > 1$ (a), $\lambda = 1$ (b) e $\lambda < 1$ (c).....	30.
<b>Figura 6</b> – Correlação das emissões de HC entre os motores de 13 e 6,5hp.....	32.
<b>Figura 7</b> – Correlação das emissões de CO entre os motores de 13 e 6,5hp.....	33.
<b>Figura 8</b> – Correlação do consumo mássico de combustível entre os motores de 13 e 6,5hp.....	36.
<b>Figura 9</b> – Correlação de <i>bsfc</i> entre os motores de 13 e 6,5hp.....	36.
<b>Figura 10</b> – Correlação do consumo energético de combustível entre os motores de 13 e 6,5hp.....	37.
<b>Figura 11</b> – Correlação da eficiência entre os motores de 13 e 6,5hp.....	38.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Padrões nacionais de qualidade do ar, de acordo com a Resolução nº 03/90 do CONAMA.....	7.
<b>Tabela 2</b> - Oferta interna de energia no Brasil, OCDE e Mundo (%).....	8.
<b>Tabela 3</b> - Características para controle de qualidade da gasolina “C”.....	21.
<b>Tabela 4</b> - Dados de controle de qualidade de E0 a E27.....	26.
<b>Tabela 5</b> - Dados de composição química e índices de octanagem de E0 a E27.....	28.
<b>Tabela 6</b> - Consumos mássico, específico, energético e eficiência do sistema, para as misturas de gasolina e AEAC em função da variação da carga.....	34.

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> – Consumo mássico de combustível.....	24.
<b>Equação 2</b> – Consumo específico de combustível ( <i>bsfc</i> ).....	24.
<b>Equação 3</b> – Consumo energético de combustível.....	24.
<b>Equação 4</b> – Eficiência do sistema.....	24.

## LISTA DE ABREVIATURAS E UNIDADES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A/C – Taxa de mistura ar/combustível na admissão do motor

AEAC – Álcool Etílico Anidro Combustível

AEHC – Álcool Etílico Hidratado Combustível

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

*bsfc* – *Break specific fuel consumption* (consumo específico de combustível) [g.kWh<sup>-1</sup>]

BTEX – Benzeno e seus derivados (tolueno, etilbenzeno e xilenos)

cc – Cilindradas ou deslocamento volumétrico do motor [cm<sup>3</sup>]

Cm – Consumo mássico de combustível [g.min<sup>-1</sup>]

CO – Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

E0 – Gasolina A (sem adição de outros componentes)

E5 – Mistura de gasolina A com 5% v/v de AEAC

E10 – Mistura de gasolina A com 10% v/v de AEAC

E20 – Mistura de gasolina A com 20% v/v de AEAC

E27 – Mistura de gasolina A com 27% v/v de AEAC

HC – Hidrocarbonetos totais medidos no escapamento do motor

IEA – International Energy Agency

FID – Detector por ionização de Chama

$\lambda$  – Razão entre a taxa de mistura A/C real e a taxa de mistura A/C estequiométrica

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Mn – Massa de combustível no final de um período de um minuto

Mn<sup>-1</sup> – Massa de combustível no início de um período de um minuto

MP – Material Particulado

NDIR – Infravermelho Não Dispersivo

NO – Óxido de Nitrogênio

NO<sub>2</sub> – Dióxido de Nitrogênio

NO<sub>x</sub> – Óxidos de Nitrogênio

O<sub>3</sub> – Ozônio

P – Potência [W]

PMQC – Programa Nacional do Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis

PQAr – Padrões de Qualidade do Ar

SNRE – *Small non-road engines*

SSINRE – *Small spark-ignited non-road engines*

SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre

t – Período de um minuto referente a coleta de dados [min]

HCT – Hidrocarbonetos totais

UNICA – União da Indústria de cana-de-açúcar

U.S.EPA – United States Environmental Protection Agency

## RESUMO

RIBEIRO, C. B. **Estudo do desempenho e das emissões gasosas de motores não-rodoviários de pequeno porte operando com gasolina e álcool etílico anidro combustível (AEAC) misturados em diferentes proporções**. 2017. 65f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO. Guarapuava/PR, 2017.

O presente estudo avaliou o comportamento dos gases monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos totais (HCT) em função dos teores de AEAC adicionados à gasolina A (E0, E10, E20, E27), do uso de motores monocilíndricos de diferentes tamanhos (13 e 6,5 hp), das cargas aplicadas aos motores e da relação ar-combustível (A/C) admitida no cilindro. Ainda, para as mesmas misturas, foi verificado o desempenho dos dois motores em termos de consumos mássico, específico e energético das misturas combustíveis e eficiência de cada sistema motor-gerador, em função da potência do motor e das cargas a eles aplicadas. O tratamento estatístico dos dados de emissões gasosas foi feito por meio de análise de variância (ANOVA) e os dados de desempenho foram submetidos à análise de variância com um fator (ANOVA one-way). A semelhança no comportamento dos dados de concentrações dos gases, consumos e eficiência entre os dois motores (13 e 6,5hp) foi verificada por correlação linear de Pearson. Os resultados mostraram que, para ambos os motores, quando houve o acréscimo do teor de etanol na mistura, as concentrações dos gases de exaustão (CO e HC) reduziram significativamente e o consumo de combustível apresentou uma leve tendência de aumento; os acréscimos de cargas aplicadas aos motores implicaram em um aumento nas emissões de CO e HC e nos consumos de combustível. Em geral, o maior conteúdo de AEAC (oxigenados) nas misturas combustíveis apresentaram maior efeito sobre as emissões gasosas, comparado ao efeito sobre os consumos e eficiência dos conjuntos (que foram mais influenciados pela variação de cargas). As análises estatísticas adotadas comprovaram que a variação dos fatores adotados para realização dos ensaios de emissões (mistura, carga e lambda) e desempenho (mistura e carga) tiveram maior influência nas variáveis resposta, quando comparado à variação da potência do motor.

**Palavras-Chave:** Combustíveis; Motores de ciclo Otto; Bioenergia; Poluição atmosférica.

## ABSTRACT

RIBEIRO, C. B. **Study of the performance and gaseous emissions of small non-road engines operating with gasoline and anhydrous ethyl alcohol fuel (AEAF) mixed in different proportions.** 2017. 65f. Dissertation (Master's degree in Bioenergy) - Midwest State University, UNICENTRO. Guarapuava/PR, 2017.

The present study evaluated the behavior of carbon monoxide (CO) and total hydrocarbons (HCT) as a function of the AEAC levels added to gasoline A (E0, E10, E20, E27), the use of single cylinder engines of different sizes (13 and 6,5 hp), the loads applied to the engines and the air-fuel ratio (A/C) allowed in the cylinder. For the same mixtures, the performance of the two engines in terms of mass, specific and energetic consumption of the fuel mixtures and efficiency of each engine-generator system was verified, as a function of engine power and the loads applied to them. The statistical treatment of gaseous emissions data was performed by means of analysis of variance (ANOVA) and performance data were submitted to analysis of variance with one factor (ANOVA one-way). The similarity in the data behavior of concentration gases, consumption and efficiency between the two engines (13 and 6,5 hp) was verified by Pearson's linear correlation. The results showed that, for both engines, when there was an increase in the ethanol content in the mixture, the exhaust gases (CO and HC) concentrations decreased significantly and the fuel consumption presented a slight tendency to increase; the increases of loads applied to the engines implied an increase in CO and HC emissions and fuel consumption. In general, the higher content of AEAC (oxygenated) in fuel mixtures had a greater effect on the gaseous emissions, compared to the effect on the consumptions and efficiency of the sets (which were more influenced by the variation of loads). The statistical analysis adopted showed that the variation of the factors adopted for the emission tests (mixture, load and lambda) and performance (mixture and load) had a greater influence on the response variables when compared to the engine power variation.

**Key Words:** Fuels; Cycle Otto engines; Bioenergy; Atmospheric pollution.

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a redução ou mesmo esgotamento futuro de fontes de energia não-renováveis, como o petróleo, associado ao prejuízo ambiental decorrente de seu uso, têm contribuído para a adoção de novas fontes de energia (ARGAWAL, 2007; ELFASAKHANY, 2016). No Brasil, as iniciativas de síntese e comercialização de combustíveis alternativos iniciaram na década de 70, através do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), com o uso do etanol, tendo como objetivo a redução da dependência dos combustíveis fósseis em veículos automotores (COSTA, PEREIRA e ARANDA, 2010).

O etanol é um combustível renovável, sendo ainda uma alternativa à gasolina em motores do ciclo Otto. Muitos estudos apontam uma redução significativa no lançamento de poluentes na atmosfera (ARGAWAL, 2007; CLAIROTTE et al., 2013; GHAZIKHANI, 2013; IODICE e SENATORE, 2014; BILLAH et al., 2014; NAJAFI et al., 2015; OLANYK, 2013). No caso do Brasil, além da questão ambiental, ressalta-se o potencial territorial e condições climáticas do país para o cultivo de cana-de-açúcar para a produção de etanol, facilitando a aceitação social e econômica. Além disso, a cana-de-açúcar possui uma elevada taxa de crescimento e fixação de CO<sub>2</sub>; durante o ciclo de crescimento da espécie, a quantidade de CO<sub>2</sub> fixada na fotossíntese é equivalente à quantidade total gerada na produção e no uso do etanol (GARCEZ e VIANNA, 2009; COSTA, PEREIRA e ARANDA, 2010).

Impulsionados pelos múltiplos benefícios potenciais do uso do etanol como combustível de transporte, em âmbito nacional, pesquisas compreendendo a produção e uso de combustíveis renováveis têm ganhado proporções cada vez maiores. No entanto, grande parte destes estudos não aborda os aspectos ambientais relacionados ao seu uso, fundamentais para o desenvolvimento de novas políticas públicas para o mercado de combustíveis (SCHIRMER et al., 2015).

Neste contexto, o presente trabalho propõe avaliar a performance e as emissões gasosas oriundas da queima de gasolina e sua mistura com Álcool Etílico Anidro Combustível (AEAC) sob diferentes condições de operação em dois conjuntos motor-gerador (13 e 6,5 hp).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral:**

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho e as emissões gasosas de dois conjuntos motor-gerador utilizando gasolina A e suas misturas com AEAC, sob diferentes condições de operação dos motores.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Determinar os parâmetros de qualidade especificados na Resolução N° 40/2013 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) quanto à cor, aspecto, destilação, teor de etanol, massa específica, ponto final de ebulição (PFE) e resíduo para todas as misturas avaliadas de gasolina A com AEAC (E0, E10, E20, E27) de modo a verificar o atendimento destes parâmetros para cada mistura;
- Determinar a composição química de todas as misturas de gasolina A com AEAC (E0, E10, E20 e E27) quanto ao teor de hidrocarbonetos (olefínicos, aromáticos e saturados) e compostos oxigenados, de modo a relacionar o efeito da variação na composição destas misturas com suas respectivas emissões gasosas e o desempenho dos motores;
- Determinar e relacionar a variação das concentrações dos gases monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos totais (HCT) em função: dos teores de AEAC adicionados à gasolina A (E0, E10, E20, E27), do uso de motores monocilindros de diferentes tamanhos (13 e 6,5 hp), das cargas aplicadas aos motores (260W, 810W, 1350W e 2000W) e da relação ar-combustível (A/C) admitida no cilindro;
- Verificar o desempenho do conjunto motor-gerador para as misturas de gasolina A com AEAC (E0, E10, E20, E27) em termos de consumos mássico, específico e energético de combustível e eficiência do conjunto motor-gerador, em função da potência do motor e da carga a ele aplicada;
- Verificar, estatisticamente, a significância dos fatores escolhidos para os ensaios de emissões (mistura, lambda e carga) e desempenho do sistema (mistura e carga), bem como a correlação entre os dados de emissões e desempenho dos dois motores de combustão (13 e 6,5hp).

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Poluição Atmosférica e os padrões nacionais de qualidade do ar**

O termo “poluição atmosférica” pode ser aplicado quando há presença de uma ou mais substâncias em concentrações suficientes para alterar a composição da atmosfera natural (DALY e ZANNETTI, 2007). Os impactos causados pela poluição atmosférica podem ser locais ou globais. Um exemplo de efeito local, em regiões urbanizadas, é o *smog fotoquímico*, relacionado à redução da visibilidade, danos à saúde humana, corrosão e degradação de materiais e impactos em diferentes ecossistemas (MANAHAN, 2005; MING-HO, 2005). Os efeitos globais são verificados em grande escala, como a depleção da camada de ozônio e o efeito estufa (RAMANATHAN e FENG, 2009; SYMEONIDIS, ZIOMAS e PROYOU, 2004).

O ritmo acelerado de crescimento dos setores industrial e de transportes tem promovido o aumento nas emissões de poluentes atmosféricos (EEA, 2016; EEA, 2010; RAMANATHAN e FENG, 2009). Devido à elevada dependência do uso de combustíveis fósseis, as fontes móveis são as principais fontes de poluição atmosférica (FENGER, 2009; HEYWOOD, 1988; SAIJA e ROMANO, 2002).

##### *3.1.1 Natureza das fontes de poluição atmosférica*

As fontes de poluição atmosférica são antropogênicas ou naturais. Mesmo as fontes naturais podem emitir quantidades significativas de poluentes na atmosfera, sendo que em algumas regiões (não urbanizadas com alta densidade de florestas) podem se sobrepor às emissões antropogênicas (BOUBEL et al., 1994). Entretanto, a determinação da origem do poluente pode ser tarefa bastante complicada, se natural ou antropogênica, já que muitos gases provenientes de fontes naturais sofrem influências de fatores resultantes da atividade humana (SCHIRMER e QUADROS, 2010).

As emissões gasosas antropogênicas podem ser de fontes fixas ou móveis. As fontes fixas (estacionárias) compreendem principalmente as indústrias, que são atividades pontuais significativas no que diz respeito à emissão de poluentes na atmosfera (BOUBEL et al., 1994). As fontes móveis compreendem os veículos rodoviários e não-rodoviários (marítimos, ferroviários, etc.), bem como pequenos motores não-rodoviários (moto-geradores, motosserras,

etc.) (USEPA, 2016). As fontes móveis (veiculares) emitem concentrações variáveis de poluentes na atmosfera. Devido ao grande número e diversidade de veículos em operação, torna-se complicado o monitoramento das emissões gasosas na base de cada fonte (MMA, 2016a). Nesse caso, a classificação do tipo de veículo é uma ferramenta para a definição de padrões de emissões, levando em conta o tipo do motor e combustível utilizados, a idade ou geração tecnológica e a aplicação do sistema (transporte de cargas ou passageiros, capacidade ou porte, etc.) (MMA, 2011).

Os “*small spark-ignited non-road engines*” (SSINRE), ou motores de ignição por centelha não-rodoviários de pequeno porte, constituem parcela representativa nas emissões de poluentes atmosféricos (MECA, 2009). Os SSINRE são motores de combustão interna, com ciclos de dois e quatro tempos, com até 19 kW (25cv) de potência bruta. Essa categoria é composta por equipamentos portáteis e não-portáteis usados principalmente em aplicações domésticas e industriais (MECA, 2009). Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), os SSINRE são classificados de acordo com o deslocamento volumétrico do motor: equipamentos não-portáteis representam a Classe I (<225 cc) e Classe II (> 225 cc) e, os portáteis, as classes III (<20 cc), IV (20-50 cc) e V (> 50 cc) (USEPA, 1997).

Ainda na década de 90, o Estado da Califórnia (EUA) adotou padrões de emissão de poluentes atmosféricos para SSINRE. Os padrões federais da USEPA que entraram em vigor em 1997 não eram tão rigorosos quanto os padrões da Califórnia. A última fase (3) de implantação de padrões de emissão de SSINRE no estado norte-americano deu-se em 2007 para motores entre 80 e 225 cc, e em 2008 para motores com deslocamentos volumétricos superiores a 225 cc (MECA, 2009). No Brasil, os padrões de emissões para SSINRE não são especificados até o presente momento.

### 3.1.2 Principais poluentes atmosféricos

Os poluentes atmosféricos podem ser primários e secundários. Os primários estão presentes na atmosfera na mesma forma de origem; já os poluentes secundários, são aqueles provenientes de reações químicas entre os poluentes primários (BOUBEL et al., 1994).

Os principais poluentes primários encontrados na atmosfera são os compostos orgânicos voláteis (COV), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), provenientes de fontes distintas (BOUBEL et al., 1994).

O ozônio (O<sub>3</sub>) troposférico está entre os poluentes secundários mais encontrados na atmosfera. A presença do O<sub>3</sub> na troposfera contribui para a formação do *smog fotoquímico*. Esse fenômeno é formado por um número indeterminado de compostos reativos, porém, seus principais precursores são os COV's e NO<sub>x</sub> (BAIRD, 2002; MANAHAN, 2005).

### *3.1.2.1 Compostos orgânicos voláteis (COV)*

Os COV compreendem todos os compostos orgânicos que possuem tendência em volatilizar rapidamente para a atmosfera. Ainda, de acordo com a USEPA, COV são compostos carbonados que participam de reações fotoquímicas na atmosfera (USEPA, 2017). A definição do tipo de COV depende de suas propriedades físico-químicas, como ponto de ebulição, pressão de vapor, coeficiente de particionamento ar-água, etc. (DEWULF, VAN LANGENHOVE e WITTMANN, 2002).

Os COV incluem hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, hidrocarbonetos halogenados, alguns álcoois, ésteres e aldeídos (MING-HO, 2005). O benzeno, etilbenzeno, tolueno e xilenos (BTEX) são hidrocarbonetos aromáticos potencialmente tóxicos e emitidos por sistemas de combustão interna. Os BTEX representam uma grande parcela dos hidrocarbonetos encontrados em baixas atmosferas (MING-HO, 2005).

Fontes naturais e antropogênicas contribuem para as emissões de COV na atmosfera. As fontes naturais incluem os processos de queima (não-antropogênicos), processos biogênicos, etc. As principais fontes antropogênicas incluem o uso e processos de combustão de solventes orgânicos, processos de incineração, entre outros (MING-HO, 2005).

Os SSINRE emitem na atmosfera quantidades significativas de monóxido de carbono (CO), bem como hidrocarbonetos (HC) e compostos orgânicos voláteis (COV), precursores do ozônio troposférico (MECA, 2009; USEPA, 1995). Os COV contribuem para uma série de efeitos negativos em escalas local e global, sendo que alguns deles são responsáveis pela depleção da camada de ozônio (estratosférico), e outros pela formação de ozônio troposférico, etc. (DEWULF, VAN LANGENHOVE e WITTMAN, 2002).

### 3.1.2.2 CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub>

Os sistemas que utilizam motores de combustão interna (inclusive os SSINRE) são as principais fontes de emissões de CO na atmosfera. Esse composto, proveniente da combustão incompleta, possui a tendência em se combinar com a hemoglobina do sangue, limitando o oxigênio para a respiração, podendo levar à asfixia. A exposição contínua ao CO, mesmo em baixas concentrações, pode ser responsável por nocivos efeitos crônicos aos sistemas nervoso central, cardiovascular, pulmonar, etc. (BOUBEL et al., 1994; MING-HO, 2005). O aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera, apesar de não apresentar toxicidade humana significativa, contribui para o agravamento das mudanças climáticas (BOUBEL et al., 1994).

Os compostos nitrogenados estão presentes na atmosfera na forma de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), trióxido de nitrogênio (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), tetróxido de nitrogênio (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) e pentóxido de nitrogênio (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Entre os compostos nitrogenados encontrados na atmosfera, o NO<sub>2</sub> apresenta maior toxicidade, possui uma importante função na formação de oxidantes fotoquímicos e contribui para a deposição ácida. Além disso, o NO<sub>2</sub> (formado principalmente por mecanismo térmico a partir da oxidação do N<sub>2</sub> atmosférico) é emitido em elevadas concentrações por processos de combustão, principalmente por sistemas de combustão interna (MING-HO, 2005).

Os SO<sub>x</sub> são provenientes de sistemas de combustão que utilizam combustíveis fósseis. O dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) é um composto tóxico e com forte odor que, mesmo em baixas concentrações, pode provocar espasmos nos músculos dos bronquíolos pulmonares. Além disso, os SO<sub>x</sub> podem ser fortes precursores das chuvas ácidas, afetar fauna e flora, além de serem altamente corrosivos (MANAHAN, 2005; MING-HO, 2005).

### 3.1.3 Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

Os padrões de qualidade do ar (PQAr) especificam os níveis máximos e níveis desejados de concentração de determinado poluente na atmosfera, buscando a proteção da saúde da população e do meio ambiente (CETESB, 2017).

Os PQAr nacionais foram estabelecidos por meio da Resolução CONAMA nº 03/1990. A resolução estabelece os PQAr primários e secundários. Os PQAr primários especificam os níveis máximos toleráveis de concentração de determinado poluente na atmosfera. No caso de superação do limite, pode ocorrer o risco ambiental e de saúde pública. Os PQAr secundários

especificam os níveis desejados de concentração de poluentes na atmosfera. Nos padrões secundários, o limite de concentração dos poluentes é abaixo do qual se prevê o mínimo de impactos negativos na população e no meio ambiente (MMA, 2016b; CETESB, 2017; BRASIL 1990).

A Resolução CONAMA n.º 03/90 prevê a aplicação de padrões primários e secundários de acordo com o uso pretendido do território nacional, por meio de classificação das áreas. A mesma resolução considera que os padrões aplicáveis serão os primários, até que seja estabelecida a classificação das áreas (CETESB, 2017). Ainda, os governos devem analisar suas circunstâncias locais antes de adotarem os níveis dos PQA nacionais (MMA, 2016b).

Os padrões primários e secundários regulamentados pela Resolução CONAMA n.º 03 de 1990 são descritos na Tabela 1.

**Tabela 1** - Padrões nacionais de qualidade do ar, de acordo com a Resolução n.º 03/90 do CONAMA.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário [ $\mu\text{g} \cdot (\text{m}^3)^{-1}$ ]	Padrão Secundário [ $\mu\text{g} \cdot (\text{m}^3)^{-1}$ ]	Método de Medição
Partículas totais em suspensão	24 horas <sup>(1)</sup>	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA <sup>(2)</sup>	80	60	
Partículas inaláveis	24 horas <sup>(1)</sup>	150	150	Separação inercial/filtração
	MAA <sup>(3)</sup>	50	50	
Fumaça	24 horas <sup>(1)</sup>	150	100	Refletância
	MAA <sup>(3)</sup>	60	40	
Dióxido de enxofre	24 horas <sup>(1)</sup>	365	100	Parrarosnilina
	MAA <sup>(3)</sup>	80	40	
Dióxido de nitrogênio	1 hora <sup>(1)</sup>	320	190	Quimiluminescência
	MAA <sup>(3)</sup>	100	100	
Monóxido de carbono	1 hora <sup>(1)</sup>	40.000 (35ppm)	40.000 (35ppm)	Infravermelho não dispersivo
	8 horas <sup>(1)</sup>	10.000 (9ppm)	10.000 (9ppm)	
Ozônio	1 hora <sup>(1)</sup>	160	160	Quimiluminescência

<sup>(1)</sup> Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

<sup>(2)</sup> Média geométrica anual.

<sup>(3)</sup> Média aritmética anual

**Fonte:** Resolução n.º 03/90 do CONAMA (1990).

### 3.2 A matriz energética

A energia primária, na maioria dos casos, é convertida pelo homem em outras formas úteis, como a energia elétrica, energia química, energia térmica e energia mecânica. As fontes de energia não-renováveis compreendem principalmente os depósitos geológicos (petróleo,

carvão, gás natural, etc.) e processos nucleares (fissão e fusão nuclear). No grupo das energias renováveis destaca-se a energia solar, da biomassa, das águas e dos ventos. A energia solar é responsável pela reprodução da biomassa, e também por efeitos fotoquímicos e fotovoltaicos (BRAGA et al., 2005; USEIA, 2016).

Nas últimas décadas, as matrizes energéticas do Brasil e de outros países no mundo sofreram significativas alterações. No Brasil, ocorreu a elevação na utilização da energia hidráulica, da bioenergia líquida e do Gás Natural Veicular (GNV). Nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômicos (OCDE), ocorreu o incremento da matriz com energia nuclear e gás natural. A inserção do GNV tornou-se um ponto comum entre os países (MME, 2016). A tabela 2 apresenta a oferta interna de energia (total de energia demandada) no Brasil, países da OCDE e mundo.

**Tabela 2.** Oferta interna de energia no Brasil, OCDE e Mundo (%).

<i>Fonte</i>	<i>Brasil</i>		<i>OCDE</i>		<i>Mundo</i>	
	1973	2014	1973	2014	1973	2014
Derivados de petróleo	45,6	39,4	53,3	35,2	46,1	31,1
Gás natural	0,4	13,5	18,5	26,8	16,0	21,5
Carvão mineral	3,2	6,3	22,2	18,6	24,6	29,0
Nuclear	0	1,3	1,3	9,6	0,9	4,7
Hidráulica	6,1	11,5	2,1	2,3	1,8	2,5
Biomassa sólida	44,2	21,9	2,3	4,2	10,4	9,3
Biomassa líquida	0,5	5,7	0,05	1,2	0,05	0,5
Eólica	0	0,3	0,05	0,9	0,05	0,5
Solar	0	0,1	0	0,4	0	0,3
Geotérmica	0	0	0,2	0,8	0,1	0,6
<i>Renováveis (%)</i>	<b>50,8</b>	<b>39,5</b>	<b>4,7</b>	<b>9,8</b>	<b>12,4</b>	<b>13,7</b>

**Fonte:** Adaptado de MME (2016).

No Brasil, ainda existe grande dependência por energia não-renovável, correspondendo a 60,5% do total consumido. Apesar dessas condições, o país possui a maior oferta interna de energia renovável no mundo, representando 39,5% da matriz energética nacional (MME, 2016).

Tendo em vista dados do ano 2014 publicados no estudo “Balanço Energético Nacional 2015”, considera-se que o setor industrial utiliza 54% de energias renováveis do total consumido. O setor de transportes consome 18% de energias renováveis do total, fato que gera maior atenção a esse setor, mesmo em condições de crescimento dos biocombustíveis no mercado de combustíveis nos últimos anos (MME, 2016).

As pressões políticas e ambientais reforçam e consolidam o desenvolvimento de culturas agroenergéticas como matéria prima para biocombustíveis. No contexto nacional, as condições estruturais do agronegócio estão delineadas, facilitando o avanço da agroenergia (GAZZONI, 2008). Ainda segundo este autor, o Brasil é um país capaz de enfrentar os desafios energéticos deste século através de incentivo à agricultura de energia, possibilitando superar barreiras sociais, econômicas e ambientais.

Em uma visão futurista, a demanda por combustíveis e produtos químicos pode ser suprida pela biomassa, e a demanda por calor e eletricidade pode ser suprida por outras fontes renováveis (HUBER, IBORRA e CORMA, 2006).

### **3.3 Os combustíveis e biocombustíveis no Brasil**

A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) estabelece as especificações das características físico-químicas dos derivados de petróleo, do gás natural, do etanol e das misturas de diesel-biodiesel. No Brasil, os combustíveis e lubrificantes comercializados devem estar de acordo com estas especificações. Essa regulamentação atende à Política Energética Nacional e aos direitos da sociedade quanto à adequação dos produtos para o uso, à proteção do meio ambiente, etc. (ANP, 2016a).

O óleo diesel e a gasolina são os combustíveis mais consumidos no Brasil. Os biocombustíveis consumidos no Brasil são o etanol, proveniente da cana-de-açúcar, e o biodiesel, produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais (ANP, 2016b; KNOTHE et al., 2006).

O Brasil é o pioneiro mundial no uso de biocombustíveis e segue em busca de alternativas ao uso do petróleo (ANP, 2016b). Os programas de incentivo para os

biocombustíveis foram criados a partir da década de 70, tendo o Proálcool como pioneiro, em 1974. No âmbito do Proálcool, houve a introdução do etanol no mercado de combustíveis e, ainda na década de 70, o teor de AEAC na gasolina já era de 15%. O incentivo na inserção do etanol no mercado de combustíveis seguiu em constante crescimento: nas décadas de 80 e 90, os teores de AEAC na gasolina eram de 20% a 25%. Em 2004 nasceu o Programa Nacional de Biodiesel (PNPB), com incentivos para a adição de teores de biodiesel no diesel comercializado. Atualmente, o percentual obrigatório de biodiesel no diesel é de 8% e o percentual de AEAC na gasolina é de até 27% (ANP, 2016c; MAPA, 2015; UNICA, 2007).

### *3.3.1 Diesel*

Quimicamente, o óleo diesel é composto por hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos e menores concentrações de nitrogênio, enxofre e oxigênio. Esse derivado do petróleo é utilizado em motores de combustão interna e ignição por compressão (ciclo diesel), encontrados principalmente em veículos rodoviários, ferroviários e marítimos (ANP, 2016d).

Segundo a ANP, a comercialização do diesel em território nacional segue uma distinção de acordo com as diversas aplicações do produto. Os óleos S10 e S500 são utilizados em sistemas rodoviários, o S1800 é utilizado em sistemas não-rodoviários e o óleo diesel DMA/DMB em embarcações marítimas. As principais diferenças entre os óleos marítimos, S10, S500 e S1800 estão no número de cetano mínimo, teor de enxofre máximo, coloração, quantidade de aditivos e período de armazenamento (ANP, 2016d).

### *3.3.2 Gás natural veicular (GNV)*

O GNV é um combustível proveniente do gás natural ou do biometano, formado em sua maior parte por metano (CH<sub>4</sub>). O GNV pode ser destinado ao uso veicular e, nesse caso, os cilindros de armazenamento devem suportar a alta pressão à qual o gás é submetido (ANP, 2016e).

No Brasil, o controle de qualidade do GNV comercializado é estabelecido por meio da Resolução ANP nº 16/2008 (ANP, 2008). Os principais parâmetros de controle são o poder calorífico superior (PCS), o índice de Wobbe, os pontos de orvalho de água (POA) e de

hidrocarbonetos (POH), além da composição do gás quanto aos teores de metano e possíveis contaminantes (ANP, 2016e).

### *3.3.3 Gasolina*

A gasolina é composta por hidrocarbonetos parafínicos (normal ou ramificados), olefinínicos, naftênicos e aromáticos, formados por cadeias de 4 a 12 carbonos. A composição da gasolina é variável e depende principalmente da origem do petróleo e dos processos de produção (ANP, 2016f).

No Brasil, são comercializadas as gasolinas A e C. A gasolina C recebe teores de AEAC pelos distribuidores e são revendidas em postos de combustíveis. A gasolina A é pura, sem adição de etanol, vendida apenas pelos produtores e importadores. A gasolina pode ser comum ou aditivada, sendo a última com maior número de octano, permitindo maiores taxas de compressão no motor (ANP, 2016f).

Segundo a ANP (2016f), existe uma série de atos normativos referentes à regulamentação da gasolina, destacando-se, a Resolução ANP nº 30/2015 (ANP, 2015), que altera a Resolução ANP nº40/2013 que estabelece as especificações das gasolinas de uso automotivo a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos em todo o território nacional (ANP, 2013); e a Resolução ANP nº 21/2009, que dá as especificações da gasolina de referência para ensaios de avaliação de consumo de combustível e emissões gasosas veiculares para homologação de veículos automotores (ANP, 2009).

A qualidade da gasolina pode ser verificada através de sua octanagem, que mede a sua capacidade de resistir à detonação. A octanagem pode ser avaliada através de dois índices: número de octano motor (MON) (resistência da gasolina à detonação quando o motor está operando em condições de temperatura e velocidade relativamente altas); e o número de octano pesquisa (RON) (resistência da gasolina à detonação quando o motor está operando em condições mais suaves de temperatura e velocidade). A média entre esses dois índices pode ser chamada de índice anti-detonante (IAD) (MARQUARD e BAHLS, 2017).

### 3.3.4 Biodiesel

O biodiesel é uma mistura de alquil-ésteres, obtido comumente da reação de transesterificação de triacilgliceróis (TAG). Os TAG são os principais componentes dos óleos vegetais e gordura animal (KNOTHE et al., 2006). Os TAG são ésteres de ácidos graxos (AG) com glicerol (glicerina). As estruturas químicas dos AG possibilitam revelar o perfil e algumas propriedades químicas (viscosidade, peso molecular, etc.) de diferentes matérias primas (KNOTHE *et al.*, 2006).

A produção de biodiesel no Brasil foi de 3.420 mil m<sup>3</sup> em 2014, com um crescimento de 17,2% sobre 2013. O biodiesel representa 0,95% da matriz energética brasileira (MME, 2016). As 54 usinas de biodiesel no Brasil, até o final de 2014, totalizaram 7.502 mil m<sup>3</sup>biodiesel/ano, sendo 44% na região Centro-Oeste, 35% na região Sul, 12% na Sudeste, 6% na Nordeste, e 3% na Norte (MME, 2016).

A adição do biodiesel ao diesel em diferentes proporções foi testada dentro do Programa de Testes, coordenado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, que contou com a participação da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). Os resultados demonstraram não existir a necessidade de ajuste ou alteração nos sistemas mecânicos que utilizem essa mistura combustível com até 7% de biodiesel no diesel (ESTEVEZ e PEREIRA, 2016).

### 3.3.5 Etanol

O etanol é uma substância pura, composta apenas por uma molécula - C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH. Esse biocombustível está inserido no mercado nacional como etanol anidro (AEAC) e etanol hidratado (AEHC). A diferença nos tipos de etanol está no teor de água contida no combustível, uma vez que o AEAC possui baixos teores de água (cerca de 0,5%), enquanto o AEHC possui aproximadamente 5% de água em volume. Nas usinas de etanol, o AEHC é o produto das colunas de destilação, sendo possível obter o AEAC através da retirada da parcela de água excedente (BRUNETTI, 2014; UNICA, 2007).

O etanol é obtido comumente pela fermentação alcoólica, que consiste na transformação de açúcar em álcool por meio da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, em condições de anaerobiose. Os principais parâmetros que influenciam no processo de fermentação alcoólica são o pH, temperatura, concentração celular, grau BRIX, açúcares redutores totais (ART) e tipo

de reator, os quais podem ditar o ritmo e a efetividade da conversão da matéria prima em produto (PASCHOALINI e ALCARDE, 2009; RIBEIRO et al., 2016).

O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de cana de açúcar e possui uma posição de destaque na produção de etanol. Incentivos governamentais têm estimulado o desenvolvimento desta matéria prima para a produção do etanol como alternativa à gasolina, promovendo menor demanda por importações de combustível (GOLDEMBERG, 2008). Nesse sentido, um grande avanço para a inserção do etanol no Brasil foi a introdução dos motores bicompostíveis (*flex-fuel*) em 2003, possibilitando a utilização de gasolina, etanol (e misturas), com rendimento satisfatório para ambos os combustíveis (GOLDEMBERG, 2008).

No final de 2014, a frota de veículos leves no Brasil (transporte pessoal e comerciais leves), foi estimada em 39,3 milhões de unidades, e a distribuição foi de 54,5% *flex-fuel*, 34% de sistemas movidos por gasolina C (gasolina A + AEAC), 1,5% movidos por AEHC e 10% a diesel. Os veículos adaptados para GNV estão incluídos nas frotas *flex* e à gasolina C (estimativa de representação de 2% da frota total de leves) (MME, 2016).

Do ponto de vista ambiental, a utilização de etanol como alternativa à gasolina se torna um fator interessante, tendo em vista a redução na extração de petróleo e emissão de poluentes na atmosfera. O etanol é um biocombustível derivado de matérias primas renováveis, além disso, é um combustível oxigenado que, quando misturado à gasolina, implica em efeitos na qualidade de combustão e nas emissões de poluentes na atmosfera (CHEN et al., 2011; GHAZIKHANI et al., 2013; IODICE e SENATORE, 2014; LI et al., 2015; NAJAFI et al., 2015; ZHU et al., 2017).

### **3.4 Programa de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis (PMQC)**

O PMQC foi criado pela ANP como ferramenta para controle de qualidade dos combustíveis comercializados no Brasil e contribui efetivamente na redução dos índices de não-conformidade desses produtos. O programa teve início em 1998 e, atualmente é regulamentado pela Resolução ANP nº 8/2011 (ANP, 2016g).

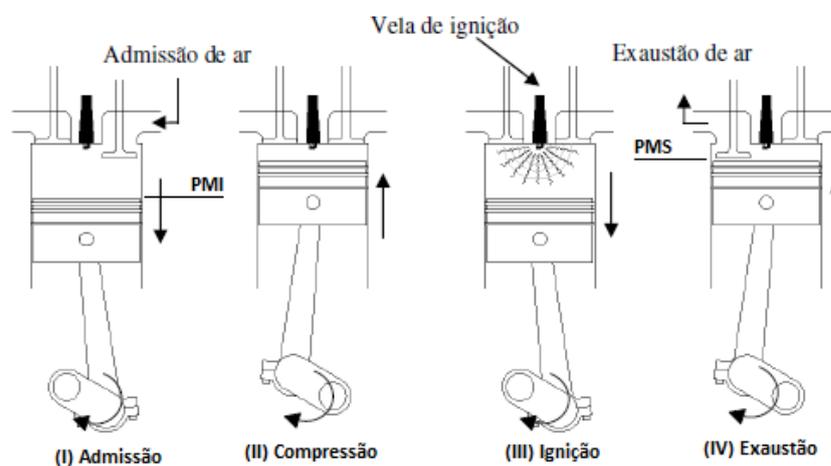
O PMQC conta com contratos entre a ANP e instituições de ensino e pesquisa para a realização dos serviços no âmbito do programa. Os ensaios realizados nos combustíveis estão de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), American Society for Testing and Materials (ASTM), International Organization for Standardization (ISO) ou Comité

Européén de Normalisation (CEN). O aspecto, cor visual e a massa específica, são parâmetros realizados para todos os combustíveis líquidos no controle de qualidade nacional. Conforme o PMQC exige, para o diesel devem ser realizadas análises de ponto de fulgor (NBR 7974 e NBR 14598), enxofre total (NBR 14875 e NBR 14533), propriedades de destilação (NBR 9619), índice de cetano (NBR 14759) e teor de biodiesel (NBR 15568) (ANP, 2012). Para o controle de qualidade da gasolina são realizadas análises de teor de AEAC (NBR 13992), propriedades de destilação (NBR 9619), MON, RON, IAD, teor de benzeno (ASTM D6277) e teor de olefinas, saturados e aromáticos (espectrometria por infravermelho). Para o etanol são analisados os parâmetros teor alcoólico (NBR 5992), condutividade elétrica (NBR 10547), pH (NBR 10891), teor de HC (NBR 13993) e para o biodiesel são analisados o teor de água (ISO 12937), ponto de fulgor (NBR 14598), índice de acidez (NBR 14448), teor de éster (NBR 15342), viscosidade cinemática (NBR 10441), glicerina livre (NBR 15341) e glicerina total (NBR 15344), cinzas sulfuradas (NBR 6294), presença de etanol/metanol (NBR 15343) e resíduo de carbono (D4530) (ANP, 2012).

### **3.5 Motores do ciclo Otto**

Os motores do ciclo Otto possuem quatro tempos (ciclos) de funcionamento: ciclo de admissão (I), compressão (II), combustão (explosão) (III) e exaustão (IV). No ciclo I, ocorre a abertura da válvula de admissão e entrada da mistura A/C no(s) cilindro(s) do motor. A partir da entrada da mistura A/C, ocorre o movimento descendente do pistão, que atinge seu ponto morto inferior (PMI). No ciclo I a velocidade de avanço da mistura no interior do cilindro é praticamente igual à velocidade do pistão, assim, a tendência é que no cilindro a pressão fique constante e o volume aumente (processo isobárico). No ciclo II, após o fechamento da válvula de admissão, o movimento retilíneo ascendente do pistão comprime a mistura à uma taxa de compressão, controlada pelo ponto morto superior (PMS). No ciclo II o trabalho do pistão é convertido em energia interna e existe uma compressão adiabática (processo muito rápido e sem trocas de calor). Nesse caso, o volume diminui à medida que a pressão e a temperatura aumentam. No ciclo III, ocorre uma descarga elétrica produzida entre a centelha e os eletrodos da vela. Na etapa III ocorre a transformação de parte da energia química do combustível em energia térmica, ou seja, a elevada temperatura fornecida pela centelha dá condições para a propagação de chama, onde as reações químicas exotérmicas de combustão ocorrem. No ciclo

III, a explosão faz com que o pistão chegue novamente no PMI. Ainda nessa etapa, uma parcela da energia química combustível não é convertida em energia térmica, resultando em elevadas concentrações de energia química desorganizada/emissões gasosas. No ciclo de exaustão (IV) ocorre a abertura da válvula de saída de gases e o movimento retilíneo do pistão em sentido ascendente faz com que os gases da combustão sejam totalmente exauridos. No ciclo IV a massa de gás presente no cilindro diminui na mesma proporção que o volume e o processo é isobárico (BRUNETTI, 2012; HEYWOOD, 1988; MANAHAN, 2005). A figura 1 apresenta os quatro ciclos de funcionamento de um MCI do ciclo Otto.



**Figura 1** - Os quatro tempos de funcionamento de motor do ciclo Otto.

**Fonte:** Adaptado de Manahan (2005).

Segundo Copelli et al., (1998) a energia interna só é transformada em trabalho no terceiro ciclo de funcionamento de um motor do ciclo Otto. Uma parcela da energia térmica produzida é eliminada como energia interna dos gases exauridos pelo escapamento. A realização de trabalho ( $W$ ) e o aumento da energia interna ( $\Delta U$ ) são dependentes da quantidade calor ( $Q$ ), corroborando com o princípio da conservação de energia (primeira lei da termodinâmica).

Segundo Brunetti (2012) o monitoramento das emissões gasosas de motores do ciclo Otto é uma ferramenta para avaliar a eficiência do processo de combustão, base para definição de padrões legais para emissões gasosas, assim como, base para expor a viabilidade ambiental de combustíveis.

### 3.6 Emissões de poluentes atmosféricos em motores do ciclo Otto

Os dados da literatura confirmam a importância em monitorar as emissões de CO, NO<sub>x</sub> e HC provenientes de motores do ciclo Otto. Entre os principais parâmetros utilizados para observar o comportamento das emissões gasosas nos motores do ciclo Otto estão a composição do combustível (LI et al., 2015; YAO, TSAI e WANG, 2013) relação ar/combustível (A/C) admitida no cilindro (BRUNETTI, 2012; HEYWOOD, 1998), carga aplicada ao sistema (WEST et al., 2008) temperatura e pressão na câmara de combustão (BRUNETTI, 2012), entre outros.

Koç et al., (2009) realizaram testes com gasolina A e suas misturas com AEAC (E50 e E85), em um motor monocilíndrico com potência máxima de 15kW, variando as rotações de 1500rpm a 5000rpm, com intervalos de 500rpm. Os resultados mostraram que a adição de etanol à gasolina promove a redução nas emissões de CO e HC, em todas as condições de rotação do motor. Segundo os mesmos autores, o efeito do etanol como combustível oxigenado torna a combustão mais completa, aumentando o torque e diminuindo as emissões gasosas. Além disso, o calor latente de evaporação dos combustíveis misturados é superior ao da gasolina A, fornecendo maior eficiência ao processo de combustão no motor.

Billah et al. (2014) observaram o conteúdo energético e o comportamento das emissões de CO e HC, a partir da combustão de gasolina e suas misturas com diversos tipos de álcoois (C<sub>2</sub> a C<sub>6</sub>). O estudo utilizou um motor de quatro cilindros e ignição por centelha, sob condições de rotação de 1000rpm a 6000rpm, com intervalos de 1000rpm. Os autores concluíram que todas as misturas de gasolina com álcool reduziram as emissões de CO e HC, quando comparado às de gasolina pura.

Yao, Tsai e Wang (2013) utilizaram formulações de 15% de etanol na gasolina pura para avaliar o comportamento das emissões de CO e HCT, em duas motocicletas de quatro tempos: uma equipada com carburador para injeção mecânica de combustível, e outra com injeção eletrônica. Os resultados mostraram que as emissões de CO e HCT de E15 foram significativamente reduzidas, para as duas motocicletas, em comparação às emissões da gasolina pura. Ainda segundo os autores, em geral, as variações nas emissões de CO e HCT (comparando gasolina pura e E15) da motocicleta com injeção eletrônica foram menores comparadas às variações da motocicleta carburada.

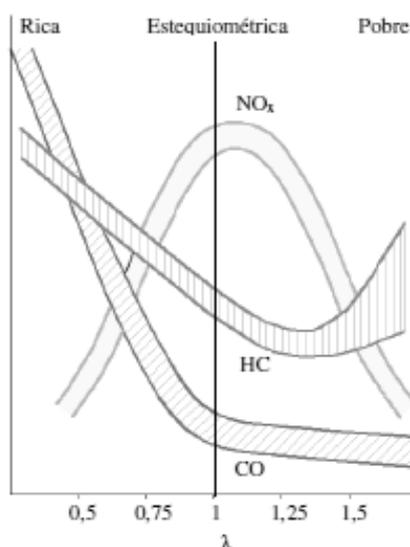
Jia et al., (2005) avaliaram as emissões de CO, HC e NO<sub>x</sub> em um motor monocilíndrico

de quatro tempos, com 7kW de potência máxima. Os testes utilizaram gasolina pura e sua mistura com 10% (v/v) de AEAC. Os resultados mostram que as emissões de CO e HC para E10 são mais baixas, em comparação à gasolina pura, enquanto o efeito do etanol sobre a emissão de NOx não é significativo. Além disso, os autores analisaram as espécies de hidrocarbonetos não-queimados e emitidos no escapamento do motor. Estas análises mostraram que os compostos aromáticos (benzeno, tolueno, isômeros de xileno, isômeros de etiltolueno e isômeros de trimetilbenzeno), etileno, metano, acetaldeído, etanol, buteno, pentano e hexano foram os principais compostos na exaustão do motor.

Olanyk (2013) verificou os consumos mássico e específico e as emissões de CO, HC e NOx em um motor monocilíndrico de quatro tempos, com 4,85kW de potência máxima, utilizando formulações de gasolina pura misturadas a 5, 10, 15, 20 e 25% v/v de AEAC e diferentes cargas aplicadas ao motor (240, 600, 1200, 1800 e 2000 W, além do “posição neutra”). O autor mostra que a adição de AEAC à gasolina, apesar de aumentar os consumos, contribui para diminuir as emissões de gases poluentes, para todas as cargas avaliadas.

A literatura corrobora a afirmação que a presença do etanol na gasolina influencia diretamente nas emissões gasosas de diferentes motores. Além disso, parâmetros de operação do motor como a carga a ele aplicada também influenciam nas emissões. Em qualquer caso, o uso do etanol reduz as emissões de CO e HC.

A relação A/C, representada pelo fator lambda ( $\lambda$ ), é um parâmetro de grande importância para avaliar a eficiência da combustão e a variação das emissões gasosas. Os valores de lambda muito próximos à unidade ( $\lambda=1$ ) indicam a estequiometria da combustão, onde teoricamente, a quantidade de comburente é exata para reagir com toda a parcela combustível (HEYWOOD, 1988; BRUNETTI, 2012). A figura 2 mostra o comportamento dos principais poluentes emitidos por motores do ciclo Otto, quanto à variação de  $\lambda$ .



**Figura 2** – Influência do  $\lambda$  na geração de HC, CO e NOx.  
**Fonte:** Adaptado de Manahan (2005).

Em condições de  $\lambda < 1$ , quando a concentração de comburente não é suficiente para oxidar toda a energia química combustível (desequilíbrio nas reações de combustão), as emissões de CO e HC são elevadas. Com  $\lambda$  próximo a 0,5 (mistura rica), as emissões de HC atingem seu máximo. À medida que a mistura empobrece, as emissões de HC são reduzidas e atingem seu mínimo com valores de  $\lambda$  acima da unidade. Porém, em condições de  $\lambda$  com valores acima de 1,5, voltam a ocorrer desequilíbrios na combustão e as emissões de HC tendem a se elevar novamente. Além da parcela de HC que não reage para formar calor, durante o ciclo de compressão, uma parte energia da química pressurizada fica retida entre o pistão e a parede do cilindro e não entra em combustão (a chama não alcança esse espaço). No ciclo de exaustão dos gases quentes, os HC retidos nesses espaços são escoados e misturados com a parcela de gases provenientes da combustão (BRUNETTI, 2012; HEYWOOD, 1988; MANAHAN, 2005).

As emissões de CO seguem um comportamento semelhante às emissões de HC, atingindo seu máximo em condições de mistura rica ( $\lambda$  próximo a 0,5). As emissões de CO atingem seu ponto mínimo em valores ligeiramente acima da unidade, permanecendo baixas em condições de  $\lambda$  mais elevados (BRUNETTI, 2012; MANAHAN, 2005).

## 3.7 Análise de gases

### 3.7.1 Cromatografia gasosa

A cromatografia gasosa (CG) é o método mais adotado para determinação de COV e amostras em baixas concentrações. Devido à sua elevada capacidade de separação (primordial que a fase estacionária possui elevada afinidade química com o composto a ser avaliado) e posterior detecção, outras técnicas se tornam bastante limitadas quando comparadas à CG (DEWULF, VAN LANGENHOVE e WITTMAN, 2002).

O cromatógrafo gasoso pode ser acoplado à uma variedade de detectores, tipicamente são empregados FID (detecção de ionização de chama), MSD (detecção de espectrometria de massa), ECD (detecção de captura de elétrons), ELCD (detecção de condutividade eletrolítica), PID (detecção de foto-ionização), FPD (Detecção de chama-fotometria) e NPD (detecção de nitrogênio-fósforo) (DEWULF, VAN LANGENHOVE e WITTMAN, 2002), dependendo das características dos compostos que se pretende avaliar.

### 3.7.2 Analisadores automáticos

Os analisadores automáticos são equipamentos portáteis com disponibilidade de deslocamento e funcionamento no campo ou, ainda, podem ser instalados em local fixo para monitoramento contínuo. Esses equipamentos possuem dispositivos capazes de analisar a concentração de determinado composto através de suas propriedades ópticas, ou a partir de reações de quimiluminescência. O detector de luz no dispositivo é capaz de produzir um sinal elétrico equivalente à concentração do poluente, fornecendo as medidas através do próprio visor ou de “softwares” (ÁLVARES JUNIOR, LACAVA e FERNANDES, 2002). Segundo os mesmos autores, os princípios eletro-ópticos mais adotados para a medição são a fluorescência, quimiluminescência, absorção de infravermelho não-dispersivo, absorção ultravioleta, etc.

Os analisadores automáticos são tipicamente utilizados em inspeções veiculares para monitorar as emissões de CO e CO<sub>2</sub>, HCT, NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub>. Os analisadores podem possuir diferentes faixas de medição e resoluções (ÁLVARES JUNIOR, LACAVA e FERNANDES, 2002).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta as misturas combustíveis utilizadas; as normas e parâmetros físico-químicos para o controle de qualidade destas misturas; os equipamentos e procedimentos para os ensaios de combustão e monitoramento de gases; as equações para determinação dos consumos mássico, específico e energético de combustível e eficiência dos sistemas motor-gerador.

### 4.1 Misturas de combustíveis e análises físico-químicas

Os ensaios empregaram os combustíveis álcool etílico anidro combustível (AEAC), gasolina tipo A (E0) e gasolina tipo C (E27) cedidos pela Ipiranga Produtos de Petróleo S.A., de Guarapuava (PR). Atualmente, a portaria n° 75 de 05/03/2015 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA) e a Resolução n° 1 de 04/03/2015 (Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool - CIMA) fixam em 27% ( $\pm 1\%$ ) a adição de AEAC à gasolina. Para verificar a influência do AEAC nos consumos de combustível, eficiência dos sistemas e emissões gasosas, optou-se por trabalhar com os teores de 10% e 20% v/v de AEAC adicionados à gasolina pura (respectivamente representados por E10 e E20), além das gasolinas tipo A e C. As amostras foram acondicionadas em embalagens hermeticamente fechadas e consumidas em períodos de 24 horas, a fim de evitar sua degradação.

Os parâmetros físico-químicos determinados para cada combustível avaliado (E0, E10, E20 e E27) seguiram as especificações estipuladas na Resolução n° 40/2013 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP): cor e aspecto, massa específica, destilação, ponto final de ebulição (PFE), resíduo e teor de AEAC, de acordo com os métodos especificados na Tabela 3. Complementarmente, também foram determinados os parâmetros MON (*motor octane number*) e RON (*research octane number*), bem como a concentração (%) dos hidrocarbonetos (benzeno, olefinas, aromáticos, saturadas, tolueno, m-xileno, o-xileno, propilbenzeno, isodureno, aqui reportados como HC totais) e compostos oxigenados presentes na composição de cada amostra. As análises dos parâmetros físico-químicos foram determinadas no equipamento *ERASPEC fuel analyzer*, com espectrômetro de infra-vermelho por transformada de fourier (FTIR) patenteado. O analisador seleciona automaticamente entre uma célula de medição de comprimento de onda de 20  $\mu\text{m}$  e uma de 100  $\mu\text{m}$ , dependendo do combustível analisado (ERALYTICS, 2017).

**Tabela 3** – Características para controle de qualidade da gasolina “C”.

<b>Característica</b>	<b>Método</b>	<b>Especificações</b>	<b>Importância do controle</b>
<b>Cor e Aspecto</b>	Visual	De incolor a amarelada, límpido e isento de impurezas	Indica a presença de contaminantes e materiais em suspensão
<b>Massa Específica (Kg.m<sup>-3</sup>)</b>	NBR 7148	Anotar	Indica possíveis adulterações com produtos mais leves ou mais pesados
<b>Destilação (°C)</b>			
<b>10% evaporado, máximo</b>	ASTM D-86	65,0	Indicam as características de volatilidade da gasolina
<b>50% evaporado, máximo</b>	ASTM D-86	80,0	
<b>90 % evaporado, máximo</b>	ASTM D-86	190,0	
<b>PFE, máximo</b>	ASTM D-86	215,0	
<b>Resíduo, máximo (mL)</b>	ASTM D-86	2,0	Indica a presença de contaminação
<b>Teor álcool anidro, máximo (% v/v)</b>	NBR 13992	Portaria MAPA e Resolução CIMA	A adição de AEAC altera o consumo e a emissão de poluentes

**Fonte:** ANP (2013).

Os parâmetros de controle de qualidade, assim como a composição química de cada mistura combustível, estão diretamente associadas à qualidade da combustão e, portanto, emissões gasosas do motor.

#### **4.2 Características e montagem dos equipamentos para os ensaios de combustão**

O aparato experimental constitui-se dos seguintes itens: 2 grupos motor-gerador de diferentes potências (13 e 6,5 hp), painel de dissipação de energia elétrica, medidor de potência, analisador automático de gases, termômetro digital infravermelho, balança digital de precisão e computador para aquisição dos dados.

Os motores-geradores utilizados, monocilíndricos, com ciclos de quatro tempos, eram equipados com carburador e afogador manual para o controle mecânico da razão A/C, com deslocamentos volumétricos de 389 e 196 cc, desenvolvendo potências máximas de 13 hp (9,69

kW) e 6,5 hp (4,85 kW), respectivamente (marca Toyama). Os motores são acoplados a geradores com potência máxima de operação de 5,5kW e 2,5kW (TG6500 e TG2800, respectivamente), ambos operando, nesse experimento, com 110 Volts e com frequência de 60 Hz, derivada da velocidade constante do motor (TOYAMA, 2017a; TOYAMA, 2017b).

O painel de dissipação de energia, projetado para garantir cargas constantes de operação, é composto por 10 lâmpadas alógenas, cada uma com 0,3 kW de potência (OLANYK, 2013). A carga aplicada pelo painel (dissipação da potência gerada pelo dínamo do gerador) foi mensurada por um medidor de potência (wattímetro alicate).

A medição das concentrações dos gases deu-se com um analisador de gases da marca NAPRO, modelo 10.02/10J, utilizado em inspeções veiculares. O analisador é composto por detector infravermelho não-dispersivo (NDIR) para medição de CO, CO<sub>2</sub> e HCT, com faixa máxima de medição de 15%<sub>vol</sub> para CO e 20%<sub>vol</sub> para CO<sub>2</sub>, com resolução de 0,01%; para HCT, a faixa máxima de medição é de 2000 ppm<sub>v</sub>. com resolução de 1 ppm (NAPRO, 2017). Durante as medições, a sonda do analisador era fixada próxima ao escapamento dos motores (Figura 3); a aquisição dos dados de concentração dos gases era obtida através do software PC-MULTIGÁS, instalado no computador portátil conectado ao sistema.



**Figura 3.** Sonda no analisador de gases inserida no escapamento do motor.

#### **4.3 Ensaios de combustão variando o fator lambda ( $\lambda$ ), teor de AEAC e carga aplicada aos sistemas**

Os ensaios avaliaram as concentrações de CO e HCT para os dois grupos motor-gerador de diferentes potências (13 e 6,5 hp) em função: da variação do fator lambda ( $\lambda$ ), do teor de AEAC na gasolina (E0, E10, E20 e E27) e das cargas aplicadas aos sistemas (0, 260, 810, 1350 e 2000 W). As condições de cargas adotadas representaram 0%, 5%, 15%, 25% e 36% da carga total suportada pelo gerador de 5,5 kW; 0%, 10%, 32%, 54% e 80% da carga total suportada pelo gerador de 2,5 kW. A variação de lambda ( $\lambda$ ) foi realizada por meio de ajuste manual do afogador, mediante a divisão do seu curso em três posições equidistantes: parcialmente aberto (mistura pobre,  $\lambda > 1$ ), intermediário (mistura estequiométrica,  $\lambda = 1$ ) e parcialmente fechado (mistura rica,  $\lambda < 1$ ). Os valores de lambda referentes a cada posição do afogador foram medidos pelo analisador de gases. A literatura mostra que a presença de diferentes teores de etanol na gasolina, a variação do fator lambda e das cargas aplicadas ao sistema, influenciam diretamente nas emissões gasosas de motores do ciclo Otto, daí a escolha de tais fatores no presente trabalho (BILLAH et al., 2014; CHEN et al., 2011; GHAZIKHANI et al., 2013; HEYWOOD, 1998; IODICE e SENATORE, 2014; KOÇ et al., 2009; LI et al., 2015; NAJAFI et al., 2015; ZHU et al., 2017; YAO, TSAI e WANG 2013; WEST et al., 2008).

Antes da execução dos ensaios, o motor era mantido em operação para aquecimento por um período aproximado de 30 minutos, sob carga de 0 W. Após o aquecimento do motor, para todos os ensaios, era adicionada a mistura a ser avaliada, estabilizada cada condição de lambda e carga e, em seguida, iniciava-se a coleta dos dados de concentração de CO e HCT. O levantamento dos dados de emissões foram realizados em períodos de 15 minutos para cada ensaio: a cada período de cinco minutos era gerado um relatório de emissão; assim, ao final de cada carga (em determinada mistura e condição de lambda), havia três relatórios com as concentrações de CO e HCT (OLANYK, 2013).

#### **4.4 Verificação do consumo e desempenho dos motores**

Para todas as condições de cargas aplicadas aos sistemas (0 a 2000 W) e para cada mistura de gasolina A e AEAC (E0 a E27) foi realizada a medição do consumo mássico de combustível, em ambos os sistemas motor-gerador (6,5 e 13 hp) fixando-se o lambda próximo à unidade ( $\lambda = 1$ ). O procedimento para determinação do consumo mássico (em duplicata) foi executado pela comparação da massa inicial e final (após o esgotamento do tanque) de

combustível após períodos de 10 minutos do motor em funcionamento, utilizando-se a equação 1 (GAUER, 2012).

$$C_{m_n} = \frac{(M_{n-1}) - (M_n)}{t} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:  $C_{m_n}$  é o consumo mássico [ $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$ ] do período  $n$ ;  $M_{n-1}$  é a massa no início do período [ $\text{g}$ ];  $M_n$  é a massa final [ $\text{g}$ ] e  $t$  correspondente ao período de um minuto de ensaio [ $\text{min}$ ].

Com os valores de consumo mássico e das variações nas condições de carga aplicada ao motor foi possível obter dados do consumo específico de combustível [ $\text{g}\cdot(\text{kWh})^{-1}$ ] para cada mistura, conforme a equação 2 (BILLAH et al., 2014).

$$bsfc = (3,6 \cdot 10^3 \times C_m) \cdot P^{-1} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:  $bsfc$  [ $\text{g}\cdot(\text{kWh})^{-1}$ ] é o consumo específico do combustível e  $P$  ( $\text{W}$ ) é a potência dissipada.

Os dados de poder calorífico superior em base seca (PCS) foram obtidos de acordo com a norma ASTM E711/2004 e, a partir desses valores, calculou-se o poder calorífico inferior (PCI), de acordo com Penido Filho (1983). Com os valores de consumo mássico e PCI, determinou-se o consumo energético de combustível de cada mistura, segundo a equação 3 (CONDE, 2007).

$$C_{en} = C_m \times \text{PCI} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:  $C_m$  é o consumo mássico [ $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$ ];  $C_{en}$  é o consumo energético de combustível [ $\text{cal}\cdot\text{min}^{-1}$ ]; PCI é o Poder Calorífico Inferior [ $\text{cal}\cdot\text{g}^{-1}$ ].

Por fim, conforme Silva et al. (2012), avaliou-se a eficiência dos sistemas motor-gerador (conversão da energia química para geração de eletricidade), empregando-se a equação 4.

$$\eta = \frac{3600}{\text{PCI} \times bsfc} \times 100 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:  $\eta$  é a eficiência do sistema (%); PCI é o poder calorífico inferior da mistura combustível ( $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

#### **4.5 Análises estatísticas do experimento**

As análises foram realizadas no software STATISTICA e seguiram delineamento experimental inteiramente casualizado com arranjo fatorial. Os dados de emissões de HC e CO foram submetidos à análise de variância (ANOVA) após checagem prévia da gaussianidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilks e homogeneidade de variância pelo teste de Bartlett. O tratamento estatístico dos dados de consumos (mássico, específico e energético) e eficiência dos motores foi feito por meio de análise de variância com um fator (ANOVA one-way). Para ambas as análises de variância, foram considerados significativos valores de  $p < 0,05$ .

A semelhança no comportamento dos dados de emissões, consumos e eficiência entre os dois motores (13 e 6,5hp) foi verificada por correlação linear de Pearson.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises físico-químicas das misturas de gasolina e AEAC

#### 5.1.1 Controle de qualidade

A tabela 4 mostra os resultados dos parâmetros físico-químicos analisados para fins de controle de qualidade da gasolina “tipo A” e suas misturas com AEAC.

**Tabela 4.** Dados de controle de qualidade de E0 a E27.

<b>Propriedades dos combustíveis</b>	<b>E0</b>	<b>E10</b>	<b>E20</b>	<b>E27</b>
<b>Aspecto visual</b>	L.I.I. <sup>(1)</sup>	L.I.I.	L.I.I.	L.I.I.
<b>Cor visual</b>	INAM <sup>(2)</sup>	INAM	INAM	INAM
<b>Massa Específica (kg.m<sup>-3</sup>)</b>	718,7	722,1	731,8	738,7
<b>Destilação (°C)</b>				
<b>10% evaporado</b>	47,2	47,3	53,2	50,2
<b>50% evaporado</b>	87,2	62,0	62,0	71,1
<b>90 % evaporado</b>	147,0	134,7	140,2	148,5
<b>PFE (°C)</b>	171,2	174,7	168,7	177,2
<b>Resíduos (mL)</b>	1,3	1,3	1,3	1,3
<b>Teor de AEAC medido (% v/v)</b>	0,0	10,3	19,7	26,6

<sup>(1)</sup> Límpido e isento de impurezas.

<sup>(2)</sup> De incolor a amarelada, podendo apresentar-se ligeiramente alterada para a tonalidade alaranjada.

As quatro amostras de combustíveis apresentaram aspecto límpido e isento de impurezas. Em relação à cor, a gasolina “A” analisada era de incolor à amarelada e o AEAC apresentou uma tonalidade alaranjado-clara. Portanto, a gradual adição de AEAC na gasolina resultou em alteração na coloração das amostras, intensificando a tonalidade alaranjado. Independente da mistura combustível analisada, o aspecto e a cor estão de acordo com a determinação da Resolução n° 40/2013 da ANP (ANP, 2013).

Os valores de massa específica para a gasolina “C” comercializada devem estar entre

730 e 770 kg.m<sup>-3</sup>, conforme testes de qualidade e normas para comercialização de combustíveis determinados pela própria agência reguladora (ANP, 2011). Nesse caso, observa-se na tabela 4 que apenas E20 e E27 apresentaram valores dentro da faixa típica. De fato, como os percentuais compulsórios de AEAC na gasolina “C” comercializada desde a década de 90 vêm variando entre valores a partir de 20% v/v, já era esperado que as massas específicas de E0 e E10 estivessem abaixo da faixa típica da gasolina tipo C, devido ao menor conteúdo de AEAC na mistura (de massa específica 794 Kg.m<sup>-3</sup>, conforme Broustail *et al.*, 2011).

No que se refere às características de volatilidade, o AEAC possui maior pressão de vapor, maior calor latente de vaporização e menor ponto de ebulição, comparado à gasolina. Portanto, quando misturados, ocorre a formação de misturas azeotrópicas, implicando em variações no PFE e nas faixas de temperaturas das curvas de destilação (ANDERSEN *et al.*, 2010; BIELACZYK *et al.*, 2013; KOÇ *et al.*, 2009; SILVA, MENEZES e CATALUÑA, 2008). Independente da mistura combustível analisada, os valores de ponto final de ebulição (PFE), temperaturas nas curvas de destilação e resíduos, estão dentro das faixas típicas especificadas pela Resolução n° 40/2013 da ANP.

De acordo com a Tabela 4, a amostra de Gasolina “C” (E27) analisada apresentou teor de AEAC dentro dos limites estabelecidos pela Portaria n° 75 de 05/03/2015 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA) e pela Resolução n° 1 de 04/03/2015 (Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool - CIMA), que determinam uma faixa de 26 a 28%. Os valores do teor de AEAC para E10 e E20 respeitaram as proporções manipuladas, não demonstrando alterações significativas.

### 5.1.2 Controle da composição química

A tabela 5 exhibe os teores de olefinas, aromáticos, saturados e oxigenados, assim como os índices de octanagem (MON e RON) da gasolina A e suas misturas com AEAC.

**Tabela 5.** Dados de composição química e índices de octanagem de E0 a E27.

<b>Característica química (%)</b>	<b>E0</b>	<b>E10</b>	<b>E20</b>	<b>E27</b>
<b>Olefinas</b>	13,6	13,2	12,5	7,8
<b>Aromáticos</b>	15,4	13,3	13,9	11,7
<b>Saturados</b>	71,0	63,2	53,9	53,9
<b>Oxigenados</b>	0,0	10,3	19,7	26,6
<b>(MON + RON)/2</b>	88,1	89,3	90,8	92,5

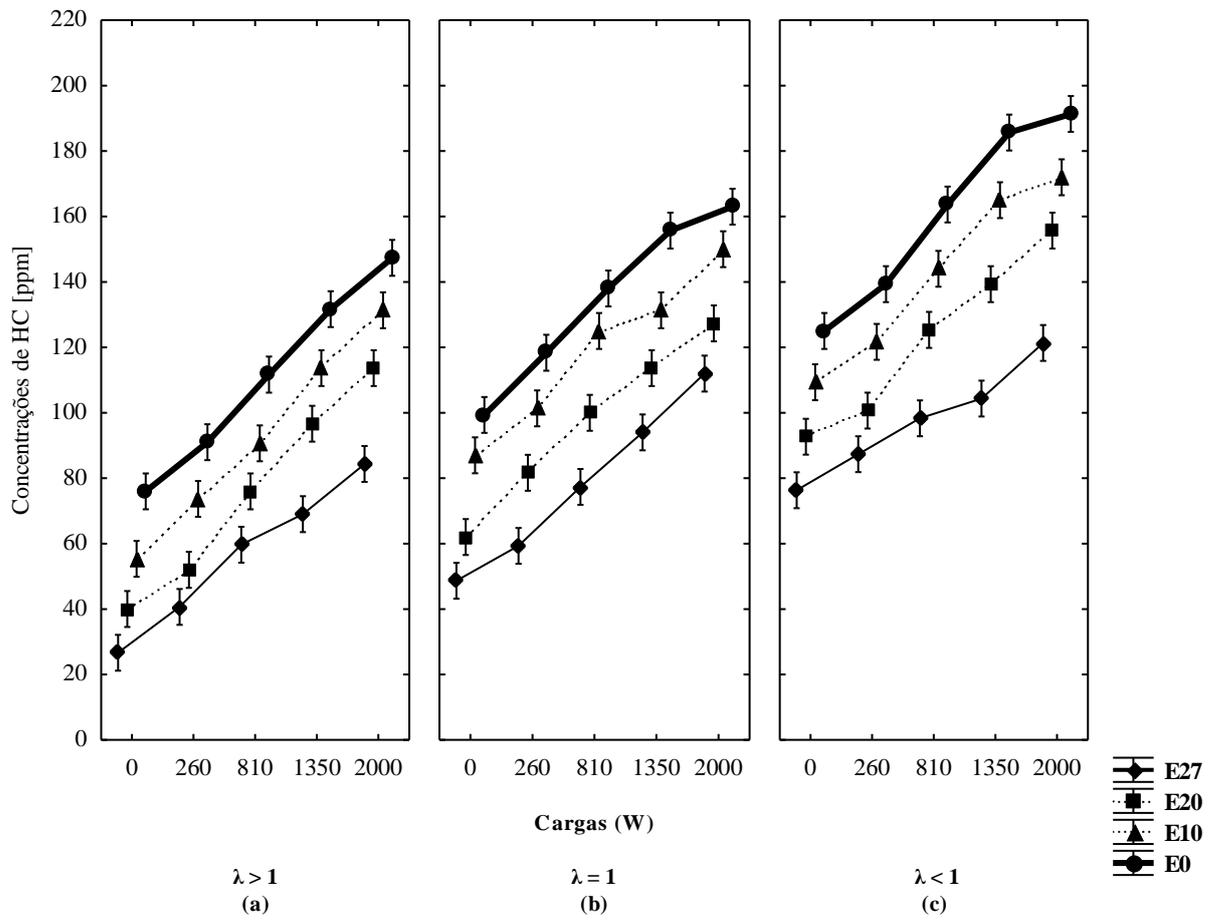
A gasolina “tipo A” (E0) é composta predominantemente por hidrocarbonetos que pertencem às classes de olefinas, aromáticos e saturados (formados por cadeias de 4 a 12 átomos de carbono). O acréscimo de AEAC (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) à gasolina implica em alterações na composição química, nas propriedades de volatilização e na octanagem das misturas combustíveis, apresentando, ainda, estreita relação com a estequiometria das reações de combustão. Os diferentes teores de AEAC na gasolina resultam em um “efeito de oxigênio pré-misturado” à mistura combustível; portanto, quanto maior o teor de AEAC, maior é a concentração de oxigênio em massa na mistura submetida à combustão (CEVIZ e YUKSEL, 2005; KOÇ et al., 2009).

De acordo com a tabela 5, os índices de octanagem sofreram elevações quando do acréscimo do teor de AEAC. A maior capacidade de auto-ignição e o maior calor latente de vaporização do AEAC (923 KJ/Kg), comparado à gasolina (349 KJ/Kg), justificam a elevação dos índices de octanagem de E10, E20 e E27, nesta ordem. De um modo geral, maiores índices de octanagem na mistura podem implicar em maior qualidade no processo de combustão, reduzindo as emissões de CO e HC (não-queimados ou parcialmente queimados) (ANDERSON et al., 2012; KOÇ et al., 2009).

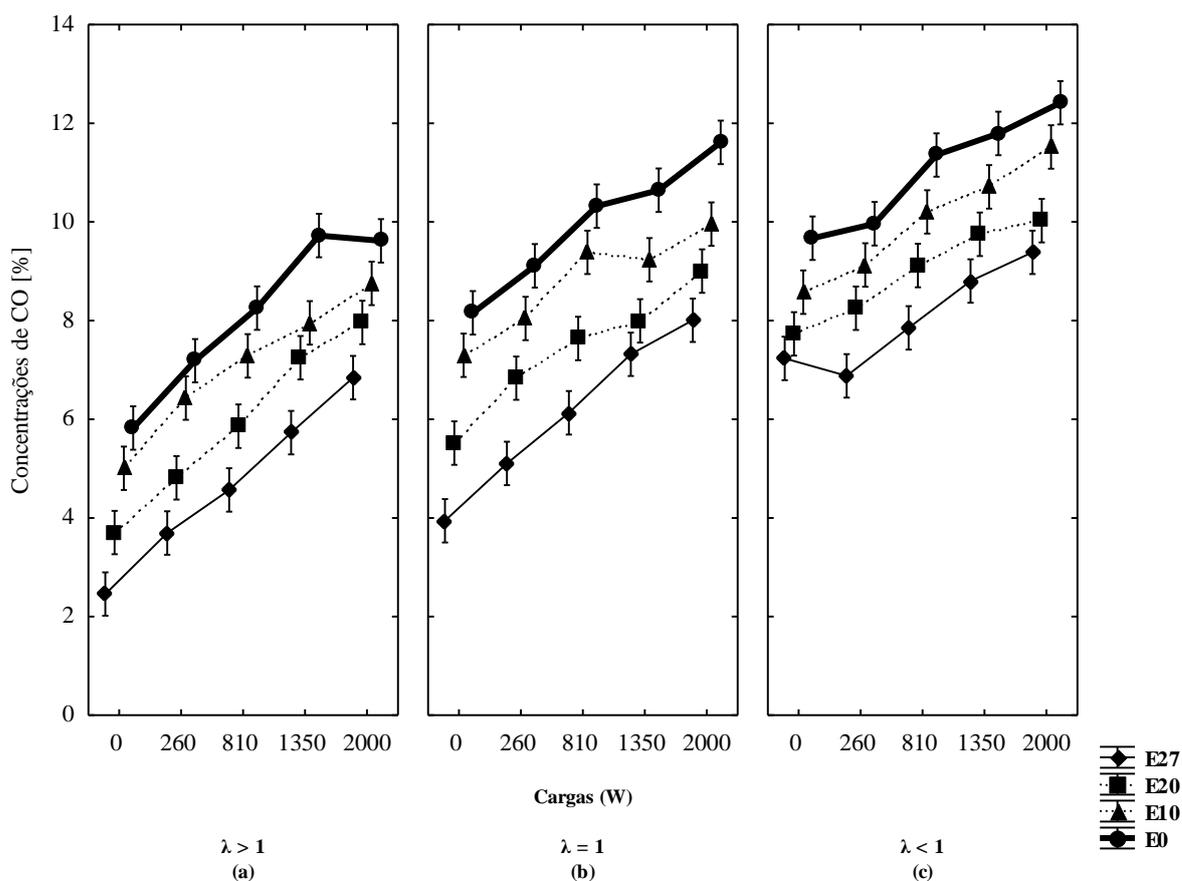
## **5.2 Avaliação das emissões gasosas variando a potência do motor, valores de lambda ( $\lambda$ ), mistura AEAC-gasolina e carga aplicada aos motores**

### *5.2.1 Concentrações de HC e CO - Motor de 13hp*

As concentrações de HC e CO emitidas pelo motor de combustão para todos os valores de lambda ( $\lambda$ ), misturas combustíveis e condições de carga adotados são mostradas nas figuras 4 (a:  $\lambda > 1$ ; b:  $\lambda = 1$ ; c:  $\lambda < 1$ ) e 5 (a:  $\lambda > 1$ ; b:  $\lambda = 1$ ; c:  $\lambda < 1$ ).



**Figura 4** - Concentrações de HC variando o teor de AEAC na gasolina e carga aplicada ao sistema, em condições de  $\lambda > 1$  (a),  $\lambda = 1$  (b) e  $\lambda < 1$  (c).



**Figura 5** - Concentrações de CO variando o teor de AEAC na gasolina e carga aplicada ao sistema, em condições de  $\lambda > 1$  (a),  $\lambda = 1$  (b) e  $\lambda < 1$  (c).

Embora exista uma elevada significância para todos os fatores analisados estatisticamente, a variação do fator lambda ( $F_{(HC)\lambda} = 1428,74$ ;  $p < 0,01$ ); ( $F_{(CO)\lambda} = 953,39$ ;  $p < 0,01$ ) implicou em um maior efeito sobre as concentrações de ambos os gases (HC e CO), seguido da variação das misturas ( $F_{(HC)misturas} = 1240,85$ ;  $p < 0,01$ ); ( $F_{(CO)misturas} = 672,37$ ;  $p < 0,01$ ) e das cargas ( $F_{(HC)carga} = 1061,06$ ;  $p < 0,01$ ); ( $F_{(CO)carga} = 435,20$ ;  $p < 0,01$ ), respectivamente. Segundo Heywood (1988), a formação dos gases poluentes HC e CO apresenta comportamento similar. Ou seja, variações do valor de lambda ( $\lambda$ ), acréscimo no teor de AEAC nas misturas combustíveis e incremento de carga aplicada ao motor, são fatores que influenciam tanto nas emissões dos HC que não reagiram (não-queimados ou parcialmente queimados) quanto nas emissões de CO formados a partir de uma combustão deficiente.

De acordo com as figuras 4 e 5, os valores mínimos de concentração de HC e CO foram encontrados para valores de  $\lambda$  acima da unidade, onde ocorreu a condição de maior equilíbrio

entre as parcelas comburente e combustível. À medida que a estequiometria das reações se alterou e o fator lambda diminuiu, a concentração de comburente se tornou insuficiente para oxidar toda a energia química combustível (excesso de combustível na mistura A/C), implicando em perda de equilíbrio nas reações de combustão e na qualidade de operação do motor; daí as concentrações de HC (não-queimados ou parcialmente queimados) e CO atingirem seus valores máximos nestas condições (BRUNETTI, 2012; HEYWOOD, 1988; MANAHAN, 2005).

As menores concentrações de HC e CO observadas para os valores de  $\lambda$  acima da unidade e para as misturas com maiores teores de AEAC podem estar associadas a dois fatores que atuam conjuntamente, ambos decorrentes do acréscimo de oxigênio para a combustão (alteração na estequiometria das reações de combustão). O primeiro fator diz respeito à abertura do afogador do motor, liberando a admissão de maiores volumes de comburente para a queima; o segundo fator refere-se à razão estequiométrica relativa do AEAC (9), inferior à da gasolina (15), uma vez que o AEAC possui em média 35% de oxigênio em massa na sua composição, enquanto a gasolina é composta predominantemente por hidrocarbonetos (KOÇ et al., 2009). Nesse caso, um maior conteúdo de oxigênio em massa no combustível contribui para a oxidação dos HC a CO<sub>2</sub>.

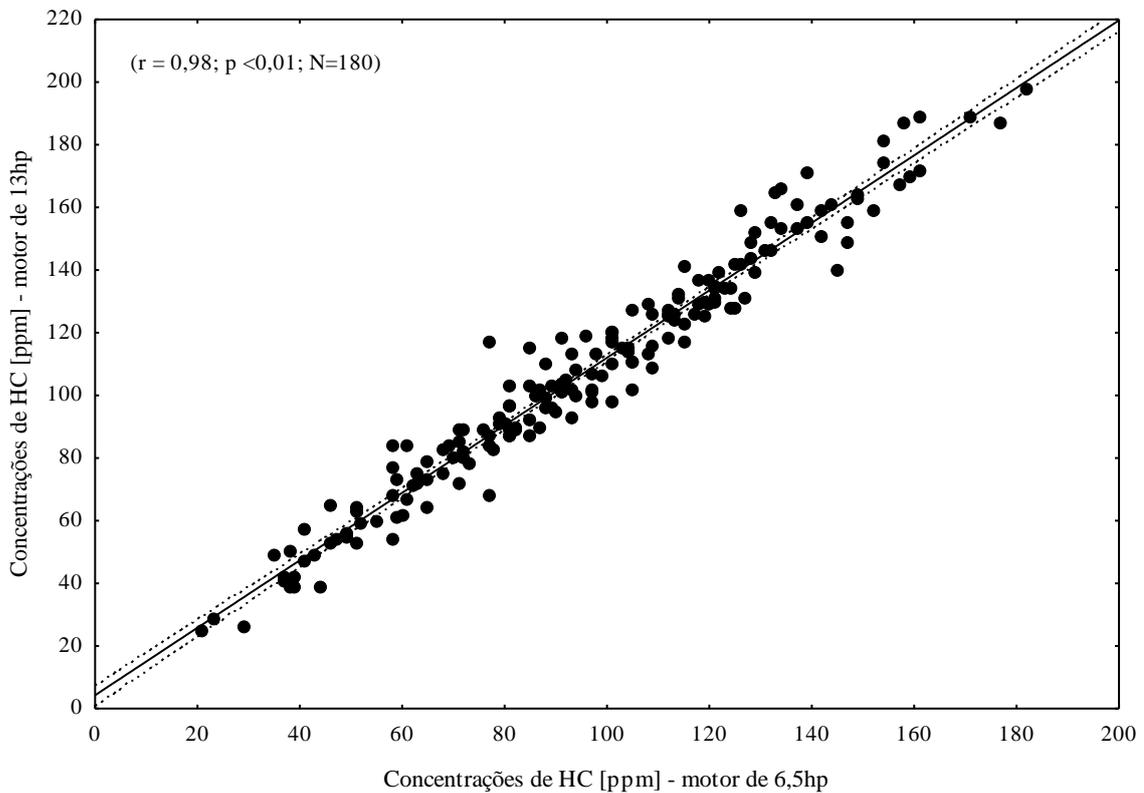
Além do efeito do oxigênio pré-misturado, o acréscimo de etanol à gasolina também está associado a outros efeitos que justificam a redução das concentrações de HC e CO emitidas: redução do tempo de iniciação da combustão e melhoria na estabilidade da combustão, devido a maiores velocidades na chama laminar e maiores pressões internas no cilindro do motor; melhoria no equilíbrio e eficiência da combustão, devido à redução das frações pesadas de HC e uma melhor evaporação das misturas AEAC-gasolina (o calor latente de evaporação e a octanagem das misturas AEAC-gasolina são superiores ao da gasolina pura) (TURNER et al., 2011). Outros estudos também verificaram a redução nas concentrações de HC e CO (em motores do ciclo Otto) com a adição de combustíveis oxigenados na gasolina (BALKI, SAYIN e CANAKCI, 2014; BILLAH et al., 2014; GRAVALOS et al., 2013; KOÇ et al., 2009; THANGAVEL et al., 2016; YAO, TSAI e WANG, 2013; ZHU et al., 2017).

No que se refere ao comportamento das concentrações de HC e CO em função da variação de carga, quando há o incremento de carga aplicada ao motor, ocorre a admissão de um maior conteúdo de combustível por unidade de tempo no cilindro do motor (aumento no consumo mássico de combustível), suprimindo a demanda por maiores rotações no eixo do motor

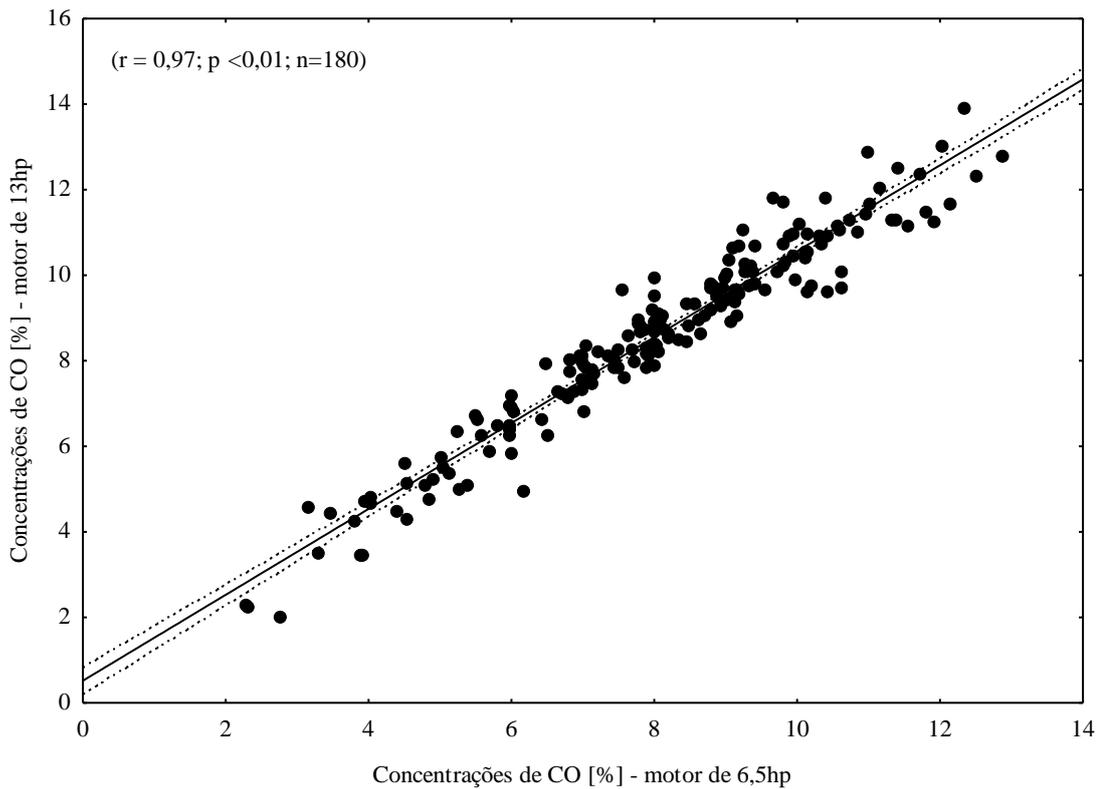
e maiores intensidades do campo magnético do gerador (BARAKAT, AWAD e IBRAHIM, 2016; OLANYK, 2013). No presente trabalho, quanto maior foi o consumo de combustível (devido ao incremento de carga aplicada), maiores foram as concentrações de CO e HC (não-queimados ou parcialmente queimados).

### 5.2.2 Correlação entre os dados de emissões gasosas dos motores de 13 e 6,5 hp

A representação gráfica das análises de correlação entre os dados de concentrações de HC e CO emitidas pelos dois motores de combustão, adotando os mesmos fatores e as mesmas variáveis-resposta, são mostradas nas figuras 6 (emissões de HC) e 7 (emissões de CO).



**Figura 6** - Correlação das concentrações de HC entre os motores de 13 e 6,5hp.



**Figura 7** - Correlação das concentrações de CO entre os motores de 13 e 6,5hp.

Observa-se, a partir das figuras 6 e 7, a correlação ( $r_{\text{concentrações de HC}} = 0,98$ ) ( $r_{\text{concentrações de CO}} = 0,97$ ) entre os dados de emissões gasosas obtidos para os dois motores (13 e 6,5 hp), adotando os mesmos fatores (lambda, mistura e carga) e as mesmas variáveis-resposta (concentrações de HC e CO); portanto, não houve diferença estatística. Em síntese, as emissões gasosas no escapamento de ambos os motores de ensaio apresentaram as seguintes tendências: redução significativa nas concentrações de HC e CO à medida que se aumentou o teor de AEAC na gasolina; aumento significativo nas emissões de HC e CO com o enriquecimento de  $\lambda$  e incremento de carga até 2000W.

### 5.3 Avaliação do desempenho dos conjuntos moto-geradores

#### 5.3.1 Consumos mássico, específico e energético e eficiência do sistema – motor de 13hp

A tabela 6 apresenta os parâmetros de performance do sistema motor-gerador para as

misturas E0, E10, E20 e E27, variando-se a carga aplicada ao motor.

**Tabela 6.** Consumos mássico, específico, energético e eficiência do sistema, para as misturas de gasolina e AEAC em função da variação da carga.

Parâmetros	Carga (W)	Misturas Combustíveis			
		E0	E10	E20	E27
$C_m^a$ (g/min)	260	10,35± 0,24	11,90± 0,01	12,57± 0,26	13,76± 0,13
	810	12,70± 0,20	14,33± 0,12	15,39± 0,37	16,58± 0,04
	1350	15,43± 0,24	16,37± 0,25	17,30± 0,19	18,59± 0,25
	2000	17,77 ± 0,04	19,22± 0,21	20,88± 0,12	21,99± 0,01
$bsfc^b$ (g/kWh)	260	14,33.10 <sup>4</sup> ± 3320,01	16,48.10 <sup>4</sup> ± 210,25	17,41.10 <sup>4</sup> ± 3600,49	19,06.10 <sup>4</sup> ± 1870,02
	810	5,64.10 <sup>4</sup> ± 890,62	6,37.10 <sup>4</sup> ± 510,81	6,84.10 <sup>4</sup> ± 1865,12	7,37.10 <sup>4</sup> ± 1550,77
	1350	4,11.10 <sup>4</sup> ± 860,06	4,42.10 <sup>4</sup> ± 680,06	4,61.10 <sup>4</sup> ± 505,57	4,96.10 <sup>4</sup> ± 650,42
	2000	3,20.10 <sup>4</sup> ± 90,47	3,46.10 <sup>4</sup> ± 360,88	3,76.10 <sup>4</sup> ± 2050,95	3,96.10 <sup>4</sup> ± 10,68
$C_{en}^c$ (cal/min)	260	9,14.10 <sup>4</sup> ± 2118,95	9,32.10 <sup>4</sup> ± 117,60	9,49.10 <sup>4</sup> ± 1963,38	10,64.10 <sup>4</sup> ± 1043,96
	810	11,21.10 <sup>4</sup> ± 1765,79	11,23.10 <sup>4</sup> ± 901,57	11,62.10 <sup>4</sup> ± 2831,81	12,82.10 <sup>4</sup> ± 270,65
	1350	13,62.10 <sup>4</sup> ± 2118,95	12,99.10 <sup>4</sup> ± 1999,12	13,06.10 <sup>4</sup> ± 1434,78	14,37.10 <sup>4</sup> ± 1894,59
	2000	15,67.10 <sup>4</sup> ± 441,45	15,05.10 <sup>4</sup> ± 1567,94	15,76.10 <sup>4</sup> ± 868,42	17,01.10 <sup>4</sup> ± 38,67
$\eta^d$ (%)	260	6,80± 1,06	6,66± 0,62	6,54± 0,2	5,84± 1,2
	810	17,26± 1,68	17,22± 0,68	16,66± 0,8	15,10± 0,94
	1350	23,68± 2,84	24,82± 0,3	24,68± 1,6	22,44± 0,38
	2000	30,56± 1,78	31,72± 0,34	30,30± 1,68	28,08± 0,06

<sup>(a)</sup> Não houve diferença estatisticamente significativa entre os dados de consumo mássico variando as misturas ( $F = 1,93$ ;  $p = 0,14$ ); houve diferença estatisticamente significativa variando as cargas ( $F = 51,60$ ;  $p < 0,01$ ).

<sup>(b)</sup> Não houve diferença estatisticamente significativa entre os dados de  $bsfc$  variando as misturas ( $F = 0,12$ ;  $p = 0,94$ ); houve diferença estatisticamente significativa variando as cargas ( $F = 202,52$ ;  $p < 0,01$ ).

<sup>(c)</sup> Não houve diferença estatisticamente significativa entre os dados de consumo energético variando as misturas ( $F = 0,64$ ;  $p = 0,59$ ); houve diferença estatisticamente significativa variando as cargas ( $F = 75,86$ ;  $p < 0,01$ ).

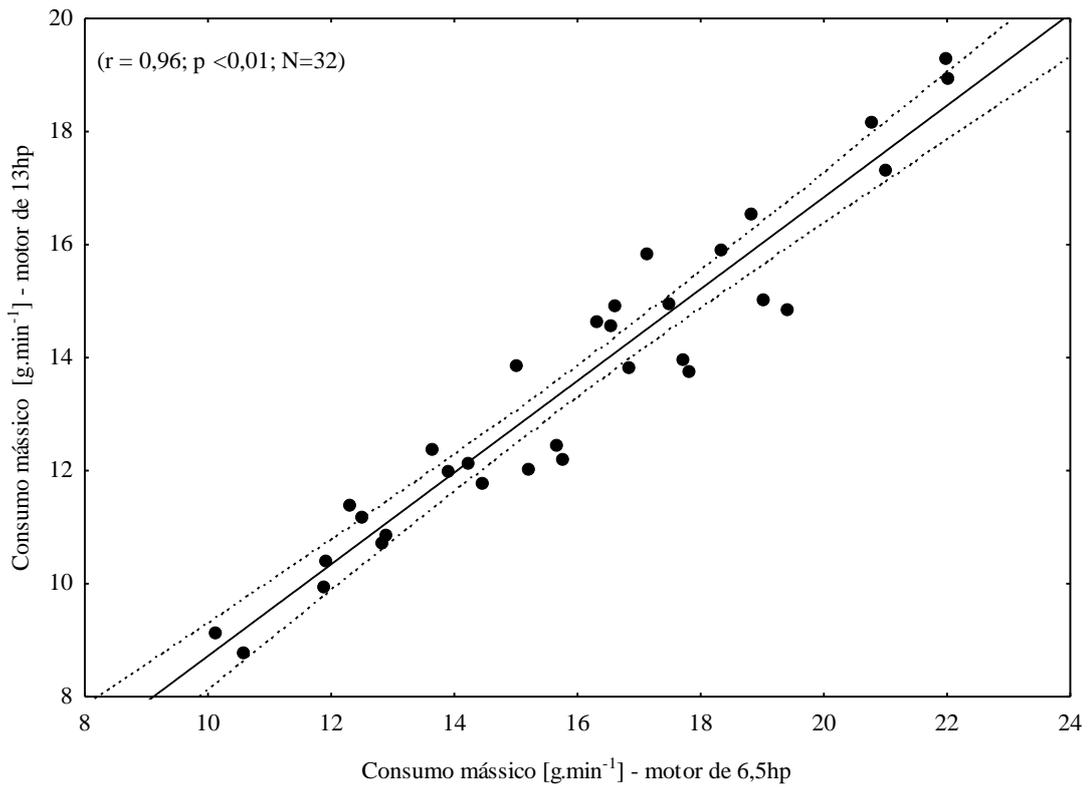
<sup>(d)</sup> Não houve diferença estatisticamente significativa entre os dados de eficiência do sistema variando as misturas ( $F = 0,08$ ;  $p = 0,97$ ); houve diferença estatisticamente significativa variando as cargas ( $F = 298,66$ ;  $p < 0,01$ ).

De maneira geral, o acréscimo de AEAC à mistura não implicou em uma variação estatisticamente significativa nos consumos de combustível e na eficiência do sistema, para todas as cargas aplicadas ao motor. Ainda assim, observa-se uma leve tendência de aumento nos consumos mássico, específico e energético e redução na eficiência do sistema, quando o AEAC é acrescentado à mistura; esse efeito deve-se ao menor PCI dos componentes oxigenados em relação aos HC (GIBBS et al., 2009; WU et al., 2004). Segundo Channiwala e Parikh (2002), o PCI dos combustíveis líquidos depende diretamente de sua base elementar (composição química), sendo o carbono e hidrogênio os maiores contribuintes para geração de calor na combustão.

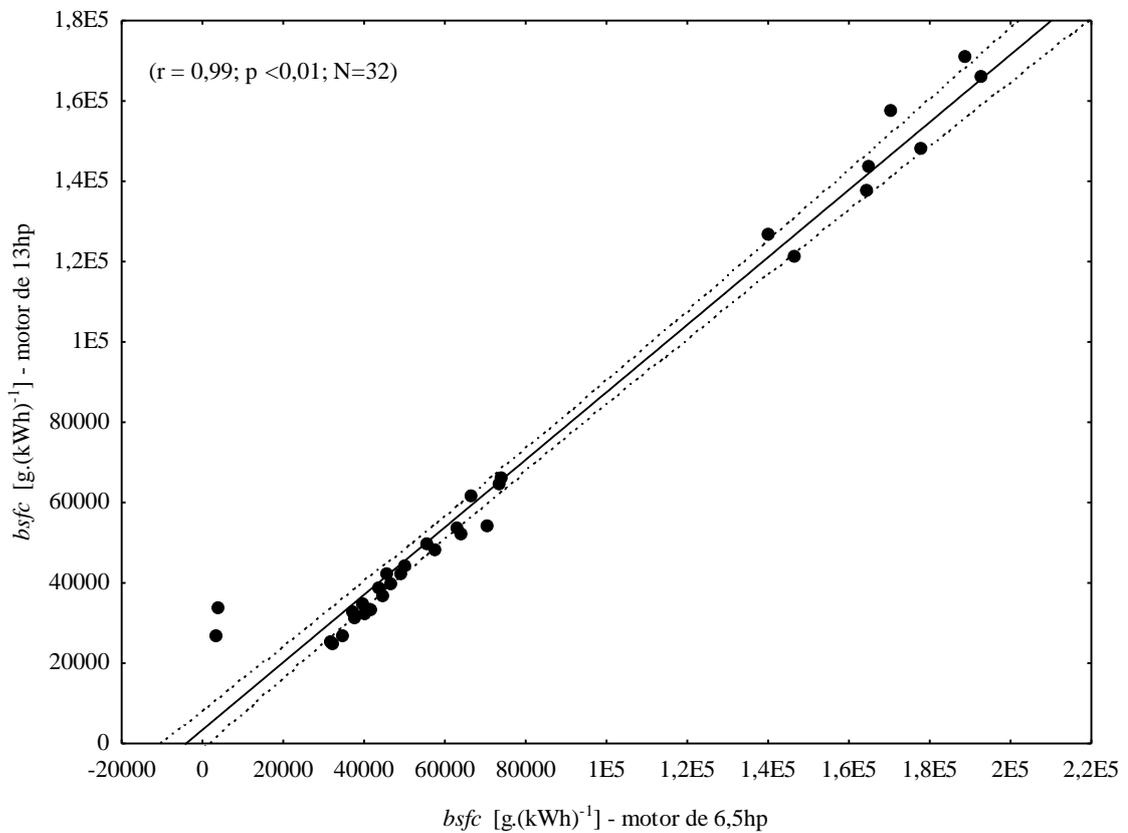
A tendência de aumento significativo nos consumos mássico e energético com o incremento de carga aplicada ao motor, para todas as misturas adotadas, pode ser justificada pela demanda de maiores torques no eixo do motor e maiores intensidades do campo magnético do gerador em condições de cargas mais elevadas (BARAKAT, AWAD e IBRAHIM, 2016; OLANYK, 2013). Ainda, de acordo com a tabela 6, observa-se que ocorreu a redução significativa do *bsfc* e aumento significativo na eficiência do sistema com o incremento de carga aplicada ao motor, para todas as misturas adotadas; na carga de 2000W, atingiu-se aproximadamente 30% de aproveitamento (conversão da energia química em eletricidade), independentemente da mistura combustível utilizada. Esse comportamento mostra que a eficiência do sistema foi mais sensível à variação de carga, em comparação à variação de misturas. A variação na eficiência do sistema quanto às cargas aplicadas justifica-se pelo melhor aproveitamento termodinâmico de combustível em condições de maiores cargas. Ou seja, maiores torques no eixo do motor aumentam a tensão inercial e a eficiência mecânica do rotor; esse comportamento deve-se aos menores esforços para bombear os gases de dentro para fora da câmara de combustão, assim como, às menores forças de atrito das partes móveis internas do motor (HEYWOOD, 1988).

### *5.3.2 Correlação entre os dados de desempenho dos motores de 13 e 6,5 hp*

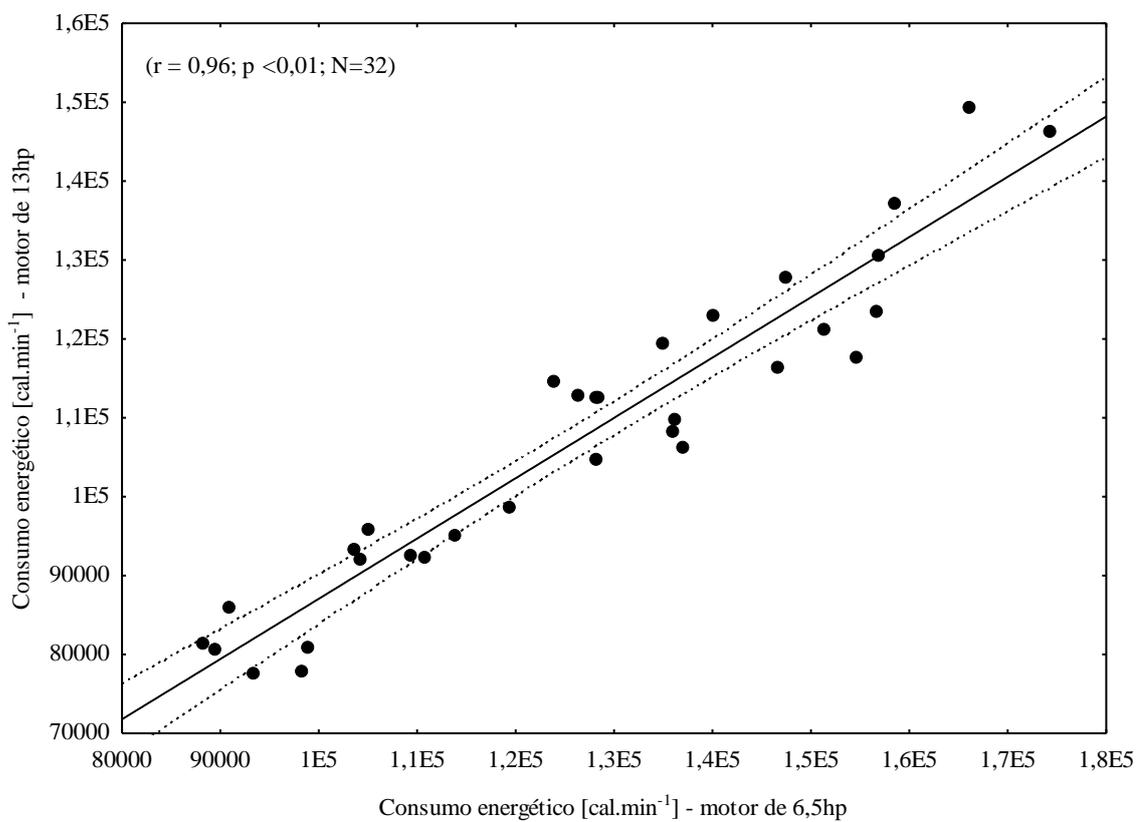
As figuras 8, 9, 10 e 11 exibem a correlação entre os dados de consumos mássico, específico e energético e eficiência dos motores de 13 e 6,5 hp, adotando-se os mesmos fatores (variação de misturas combustíveis e cargas aplicadas ao motor).



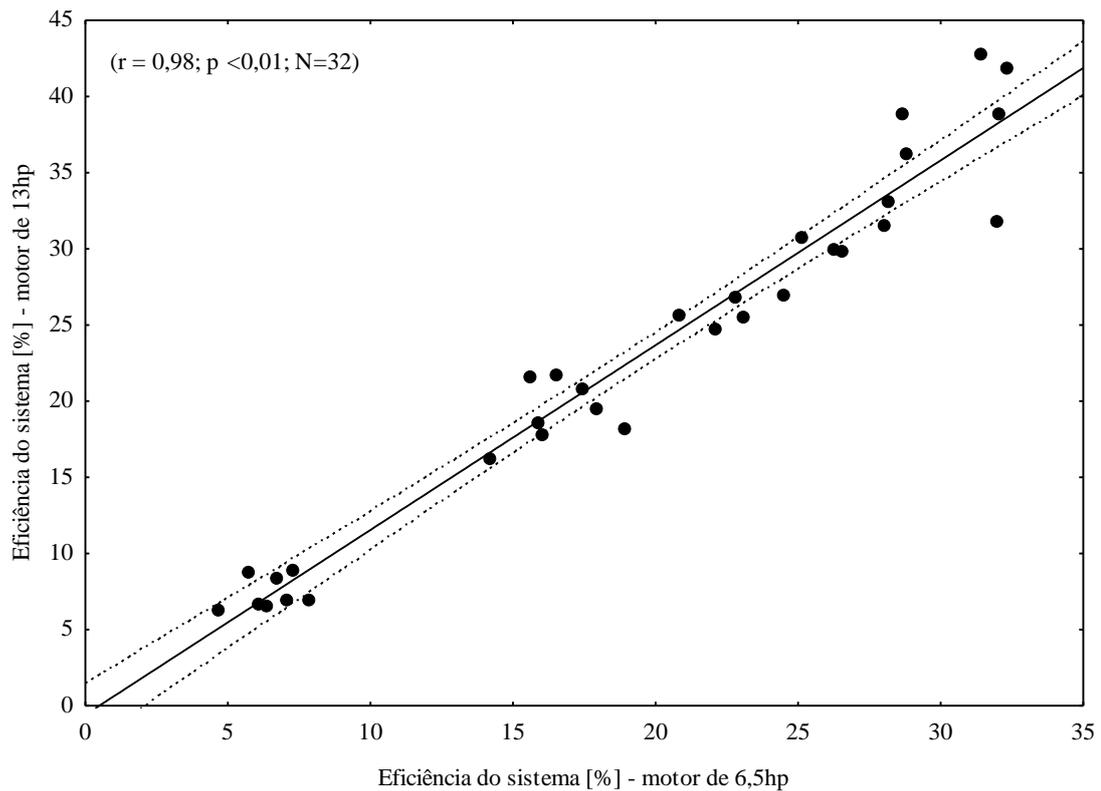
**Figura 8** - Correlação do consumo mássico de combustível entre os motores de 13 e 6,5 hp.



**Figura 9** - Correlação do *bsfc* entre os motores de 13 e 6,5 hp.



**Figura 10** - Correlação do consumo energético de combustível entre os motores de 13 e 6,5 hp.



**Figura 11** - Correlação da eficiência entre os motores de 13 e 6,5 hp.

Observa-se, a partir das figuras 8, 9, 10 e 11, a correlação entre os dados de desempenho obtidos para os dois motores (13 e 6,5 hp), adotando os mesmos fatores (mistura e carga) e as mesmas variáveis-resposta (consumos mássico, específico e energético e eficiência do sistema). Em síntese, os dados de desempenho de ambos os conjuntos motores-geradores de ensaio apresentaram as seguintes tendências: leve aumento nos consumos mássico, específico e energético e leve redução da eficiência do sistema à medida em que aumentou o teor de AEAC na gasolina; aumento significativo nos consumos mássico, energético e eficiência do sistema e redução significativa no *bsfc* com o incremento de carga aplicada ao motor até 2000W.

Em geral, as condições dos ensaios de emissões e desempenho exigiram menores torques no eixo do motor de 13 hp, em comparação com o de 6,5 hp, devido à maior capacidade de realizar trabalho por unidade de tempo (maior potência) do motor de maior porte. Porém, essa diferença de potência e capacidade não implicou em variações estatisticamente significativas entre os dados de emissões e desempenho dos dois motores. Segundo Brunetti (2012), as concentrações dos gases de escape, bem como a eficiência de motores do ciclo Otto, dependem principalmente da qualidade da mistura A/C, do tipo de combustível e das condições

de funcionamento do motor. No presente trabalho, para ambos os motores monocilíndricos, o sistema de admissão de combustível, as misturas A/C, as cargas aplicadas aos motores e os combustíveis utilizados eram os mesmos, resultando, portanto, em tendências similares nos dados de emissões de HC e CO e desempenho nos dois motores, independentemente de sua potência.

## 6. CONCLUSÕES

1) Independente da mistura avaliada (E0, E10, E20, E27), os resultados dos parâmetros cor, aspecto, temperaturas das curvas de destilação, massa específica, PFE e resíduo atenderam às especificações da legislação vigente para a gasolina e, portanto, estão em conformidade para utilização em ensaios de emissões e desempenho em motores do ciclo Otto.

2) A investigação da composição química das misturas combustíveis e sua influência nas emissões gasosas e no desempenho dos sistemas indicou que: o acréscimo de AEAC à gasolina elevou as concentrações de oxigenados na composição química das misturas; esse comportamento implicou em reduções significativas nas concentrações de HC e CO emitidos pelo motor, bem como em um leve aumento nos consumos mássico, específico e energético de combustível e redução da eficiência do sistema; porém, as análises estatísticas mostraram que essa tendência de variação nos consumos de combustível e eficiência do motor não foi significativa. Em geral, o maior conteúdo de AEAC (oxigenados) nas misturas apresentaram maior efeito sobre as emissões gasosas, comparado ao efeito sobre o desempenho dos sistemas (motores-geradores).

3) Em ambos os motores, o empobrecimento da mistura A/C implicou em reduções estatisticamente significativas nas concentrações de HC e CO; com o incremento de carga aplicada aos motores, observou-se a elevação significativa nas concentrações de HC e CO. As menores concentrações de HC e CO foram observadas em condições de lambda acima da unidade e na menor carga aplicada ao motor, condições em que ocorreu o maior equilíbrio entre a parcela combustível e a comburente. As maiores concentrações de HC e CO foram observadas em condições de lambda abaixo da unidade e na maior carga aplicada ao motor; isso deve-se principalmente à deficiência de comburente para as reações de combustão e pelo elevado consumo de combustível (devido à carga aplicada ser elevada).

4) Em ambos os motores, o incremento de cargas aplicadas implicou em uma elevação estatisticamente significativa nos consumos mássico e energético; porém, observou-se maiores eficiências de conversão para as maiores cargas. Em geral, a carga aplicada ao motor apresentou maior influência no desempenho dos sistemas, comparado à variação no teor de AEAC na mistura.

5) Não houve diferença estatística entre os dados de emissões gasosas e desempenho dos

motores de 13 e 6,5 hp, adotando os mesmos fatores e variáveis-respostas. Esses resultados indicaram que, mesmo em condições de menores intensidades aplicadas ao eixo do motor de 13 hp (quando comparado ao de 6,5 hp), para qualquer condição de lambda, carga e mistura, a quantidade de combustível admitida no cilindro e a qualidade das reações de combustão (observada através das concentrações de HC e CO) foi muito semelhante entre os motores, independentemente de sua potência.

## 7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- 1) Realização de ensaios de combustão com os mesmos fatores e variáveis-respostas do presente trabalho, adotando motores com injeção eletrônica de combustível, de modo a manter o controle automatizado da mistura A/C.
- 2) Avaliação das emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) emitidas pelo motor, utilizando as mesmas condições do presente trabalho.
- 3) Realização dos ensaios de combustão adotando motores *flex-fuel*, possibilitando trabalhar com maiores teores de AEAC adicionado à gasolina, bem como o uso de etanol hidratado (AHEC), de modo a avaliar as emissões e desempenho do sistema nessas condições.
- 4) Realização dos ensaios de combustão sob maiores condições de cargas aplicadas (acima de 2000W) ao motor, possibilitando verificar o comportamento das emissões e desempenho nessas condições.
- 5) Realização dos ensaios de emissões e desempenho adotando outros álcoois de maior peso molecular como o propanol, butanol e pentanol misturados à gasolina, a fim de avaliar o efeito de outros combustíveis oxigenados na gasolina.
- 6) Realização de estudo comparativo entre dois motores de diferentes portes (semelhante ao presente trabalho), porém, adotando um SSINRE monocilíndrico (até 19kW de potência) e um motor com quatro ou mais cilindros (acima de 100kW de potência), a fim de verificar a influência de variações significativas na potência do motor e suas relações com as emissões gasosas e desempenho.

## 8. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVIEIS (ANP). **Biocombustíveis**. 2016b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis?view=default>>. Acesso em: 19 out. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVIEIS (ANP). **Biodiesel**. 2016c. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 20 out. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVIEIS (ANP). **Boletim de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis**. 2016g. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/boletins-anp/2390-pmqc-boletim-de-monitoramento-da-qualidade-dos-combustiveis-2>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVIEIS. **Cartilha do posto revendedor de combustível**. 5. ed. Rio de Janeiro: 2011. Disponível em: <<http://www.recap.com.br/pdf/cartilha-anp-5-edicao.pdf>>. Acesso em: 20. Out. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVIEIS (ANP). **Combustíveis Líquidos**. 2016a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-e-derivados2/combustiveis>>. Acesso em: 20 out. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVIEIS (ANP). **Gás Natural**. 2016e. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/gas-natural>>. Acesso em: 20 out. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVIEIS (ANP). **Gasolina**. 2016f. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1855-gasolina>>. Acesso em: 20 out. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVIEIS (ANP). **Óleo Diesel**. 2016d. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>>. Acesso em: 20 out. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVIEIS (ANP). **O Programa de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis - PQMC**. Rio de Janeiro: Séries Temáticas ANP – Nº 5. 2012. 50p.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVIEIS (ANP). Resolução ANP Nº 16, DE 17.6.2008 - DOU 18.6.2008. Disponível em: <<http://www.scgas.com.br/uploads/editores/20100720165420.pdf>> Acesso em: 04 mai. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução ANP N° 21, DE 01.7.2009 - DOU 03.7.2009. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=111847>> Acesso em: 04 mai. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução ANP N° 30, DE 29.6.2015 - DOU 30.6.2015. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=286284>> Acesso em: 04 mai. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução ANP N° 40, DE 25.10.2013 - DOU 30.10.2013. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=261207>> Acesso em: 04 mai. 2017.

ÁLVARES JR., O. M.; LACAVAL, C. I. V.; FERNANDES, P. S. *Emissões Atmosféricas*. Brasília: SENAI/DN, 2002. 373p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM E711**. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter. 2004.

ANDERSEN, V. F.; ANDERSON, J. E.; WALLINGTON, T. J.; MUELLER, S. A.; NIELSEN O. J. *Distillation Curves for Alcohol-Gasoline Blends*. **Energy Fuels**, v. 24, n.1, p 2683-2691, 2010.

ANDERSON, J. E.; DICICCO, D. M.; GINDER, J. M.; KRAMER, U.; LEONE, T. G.; RANEY-PABLO, H. E.; WALLINGTON, T. J. *High octane number ethanol-gasoline blends: Quantifying the potential benefits in the United States*. **Fuel**, v. 97, n. 1, p. 585-594, 2012.

ARGAWAL, A. *Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines*. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 33, n. 1, p. 233-271, 2007.

BAIRD, C. *Química Ambiental*. Tradução Maria Angeles, Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrerá. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.

BALKI, M. K.; SAYIN, C.; CANAKCI, M. *The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine*. **Fuel**, v. 115, v. 1, p. 901-906, 2014.

BARAKAT, Y.; AWAD, E. N.; IBRAHIM, V. *Fuel consumption of gasoline ethanol blends at different engine rotational speeds*. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 25, n. 3, p. 309-315, 2016.

BIELACZYK, P.; WOODBURN, J.; KLIMKIEWICZ, D.; PAJDOWSKI, P.; SZCZOTKA, A. *An examination of the effect of ethanol-gasoline blends' physicochemical properties on emissions from a light-duty spark ignition engine*. **Fuel Processing Technology**, v. 107, n. 1, p. 50-63, 2013.

BILLAH, M.M.; HASSAN, M.H.; KALAM, M.A.; PALASH, S. M.; HABIBULLAH, M. *Effect of alcohol-gasoline blends optimization on fuel properties and their effect on SI engine performance and emission*, **Journal of Cleaner Production**, v. 86, n.1, p. 230-237, 2014.

BOUBEL, R. W.; FOX, D. L.; TURNER, D. B.; STERN, A. C. *Fundamentals of Air Pollution*. 3. ed. San Diego: Academic Press, 1994. 595p.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do Desenvolvimento Sustentável*. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 332p.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990. *Diário Oficial da União*. Brasília, 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.

BROUSTAIL, G.; SEERS, P.; HALTER, F.; MORÉAC, G.; MOUNAIM-ROUSSELLE, C. *Experimental determination of laminar burning velocity for butanol and ethanol iso-octane blends*. **Fuel**, v. 90, n.1, p. 1-6, 2011.

BRUNETTI, F. *Motores de combustão interna*. v. 01, São Paulo: Blucher, 2012, 553p.

CEVIZ, M. A.; YÜKSEL, F. *Effects of ethanol–unleaded gasoline blends on cyclic variability and emissions in an SI engine*. **Applied Thermal Engineering**, v. 25, n. 1, p. 917-925, 2005.

CHANNIWALA, S. A.; PARIKH, P. P. *A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuel*. **Fuel**, v. 81, n. 8, p. 1051-1063, 2002.

CHEN, R. H.; CHIANG, L.B.; CHEN, C. N.; LIN, T. H. *Cold-start emissions of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuel*. **Applied Thermal Engineering**, v.31, n.8 e 9, p.1463-1467, 2011.

CLAIROU, M.; ADAM, T. W.; ZARDINI, A. A.; MANFREDI, U.; MARTINI, G.; KRASENBRINK, A., VICET, A.; TOURNIÉ, E.; ASTORGA, C. *Effects of low temperature on the cold start gaseous emissions from light duty vehicles fuelled by ethanol-blended gasoline*. **Applied Energy**, v. 102, n.1, p. 44-54, 2013.

CONDE, A.P. **Desempenho de motor ciclo diesel alimentado com biodiesel de óleo de soja e oliva**. 2007. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

CONSELHO INTERMINISTERIAL DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL (CIMA). Resolução CIMA Nº 1, DE 04.3.2015 - DOU 06.3.2015. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=281774>> Acesso em: 04 mai. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade do Ar: Padrões de qualidade do ar**. São Paulo: 2017. Disponível em: <[http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar\\_indice\\_padroes.mtc.asp](http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_indice_padroes.mtc.asp)>. Acesso em: 21 jan.

2017.

COPELLI, A. C.; TOSCANO, C.; TEIXEIRA, D. R.; SILVA, I. S.; PEREIRA, J. A.; MARTINS, J.; MENEZES, L. C.; PIASSI, L. P. C.; PELAES, S. B.; DIAS, W. S.; HOSOUME, Y. *Leitura de física: Física térmica, para ler, fazer e pensar*. São Paulo: Edusp, 1998, 38p.

COSTA, A. C. A.; PEREIRA, N.; ARANDA, D. A. G. *The situation of biofuels in Brazil: New generation technologies*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 3041-3049, 2010.

DALY, A.; ZANNETTI, P. **An Introduction to Air Pollution – Definitions, Classifications, and History. Chapter 1: OF AMBIENT AIR POLLUTION**. 2007. 14p. Disponível em: <<http://www.envirocomp.org/books/chapters/1aap.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2016.

DEWULF, J.; VAN LANGENHOVE, H.; WITTMANN, G. *Analysis of volatile organic compounds using gas chromatography*. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 21, n. 9 e 10, p. 637-646, 2002.

ESTEVEZ, R. A.; PEREIRA, R. G. *Análise sobre a evolução do biodiesel no Brasil*. **Revista Espacios**, v.37, n.2, p.5, 2016.

ELFASAKHANY, A. *Experimental study of dual n-butanol and iso-butanol additives on spark-ignition engine performance and emissions*. **Fuel**, v.163, n.1, p. 166-174, 2016.

ERALYTICS. **Eraspec**. Disponível em: <<http://eralytics.com/instruments/eraspec-fuel-analyzer/>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA). **Air pollutants and global effects 2016**. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/2599XXX/page009.html>>. Acesso em: 10 out. 2016.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA). **The European Environment, State of Outlook: Air Pollution**. 2010. 42p. Disponível em: <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=%2BM0TdkxG7V8%3D&tabid=467&language=el-GR>>. Acesso em: 10 out. 2016.

FENGER, J. *Air pollution in the last 50 year – from local to global*. **Atmospheric Environment**, v. 43, n.1, p. 13-22, 2009.

GARCEZ, C. A. G.; VIANNA, J. N. S. *Brazilian Biodiesel Policy: Social and environmental considerations of sustainability*. **Energy**, v. 34, n.1, p. 645-654, 2009.

GAUER, M. A. **Avaliação do desempenho e das emissões gasosas decorrentes do uso de biodiesel de soja e de sebo bovino em diferentes misturas com o diesel em um motor gerador**. 2012. 155f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2012.

GAZZONI, D. L. Panorama energético atual e perspectivas futuras. **Revista biodieselbr.com**, 2008. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/energia/agro-energia.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

GHAZIKHANI, M.; HATAMI, M.; SAFARI, B.; GANJI, D. D. *Experimental investigation of performance improving and emissions reducing in a two stroke SI engine by using ethanol additives*. **Propulsion and Power Research**, v. 2, n.4, p. 276–283, 2013.

GIBBS, L.; ANDERSON, B.; BARNES, K.; ENGELER, G.; FREEL, J.; HORN, J.; INGHAM, M.; KOHLER, D.; LESNINI, D.; MACARTHUR, R.; MORTIER, M.; PEYLA, D.; TANIGUCHI, B.; TIEDEMANN, A.; WELSTAND, S.; BERNHARDT, D.; COLLINI, K.; FARR, A.; JONES, J.; LIND, J.; TOM, C. *Motor Gasolines Technical Review*. Chevron Company, 2009. 124p. Disponível em: <[http://www.chevronwithtechron.com/products/documents/69083\\_motorgas\\_tech\\_review.pdf](http://www.chevronwithtechron.com/products/documents/69083_motorgas_tech_review.pdf)>. Acesso em 02 abr. 2017.

GOLDEMBERG, J. *The brazilian biofuels industry*. **Biotechnology for biofuels**. v.1, n.6, p. 1-7, 2008.

GRAVALOS, I.; MOSHOUS, D.; GIALAMAS, T.; XYRADAKIS, P.; KATERIS, D.; TSIROPOULOS, Z. *Emissions characteristics of spark ignition engine operating on lower/higher molecular mass alcohol blended gasoline fuels*. **Renewable Energy**, v. 50, n.1, p. 27-32, 2013.

HEYWOOD, J. B. *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw Hill, 1988. 930p.

HUBER, G.W.; IBORRA, S.; CORMA, A. *Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts and engineering*. **Chemical Reviews**, v.106, n.9, p.4044-4098, 2006.

IODICE, P.; SENATORE, A. *Cold start emissions of a motorcycle using ethanol-gasoline blended fuels*. **Energy Procedia**, v.45, n.1, p. 809-818, 2014.

JIA, L.W.; SHEN, M. Q.; WANG, J.; LIN, M. Q. *Influence of ethanol–gasoline blended fuel on emission characteristics from a four-stroke motorcycle engine*. **Journal of Hazardous Materials**, v.123, n. 1-3, p. 29-34, 2005.

KNOTHE, G.; GERPEN, V. J.; KRAHL, J.; RAMOS, P. L. *Manual do Biodiesel*. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 340p.

KOÇ, M.; SEKMEN, Y.; TOPGU, T.; YUCESU, H. S. *The effects of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine*. **Renewable Energy**, v. 34, n.10, p. 2101-2106, 2009.

LI, L.; GE, Y.; WANG, M.; PENG, Z.; SONG, Y.; ZHANG, L.; YUAN, W. *Exhaust and evaporative emissions from motorcycles fueled with ethanol gasoline blends*. **Science of the Total Environment**, v.502, n.1, p.627–631, 2015.

MANAHAN, S. E. *Environmental Chemistry*. 8. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2005. 783p.

MANUFACTURERS OF EMISSION CONTROLS ASSOCIATION (MECA). **Emission control of small spark-ignited off-road engines and equipment**. 2009. 25p. Disponível em: <[http://www.meca.org/galleries/files/sore\\_white\\_paper\\_0109\\_final.pdf](http://www.meca.org/galleries/files/sore_white_paper_0109_final.pdf)>. Acesso em: 18 out. 2016.

MING-HO, Y. *Environmental Toxicology: biological and health effects of pollutants*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2005. 339p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Portaria MAPA Nº 75, DE 05.3.2015 - DOU 06.3.2015. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=281775>> Acesso em: 04 mai. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Resenha energética brasileira: Exercício de 2015**. 2016. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+\(PDF\)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4?version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+(PDF)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4?version=1.0)>. Acesso em: 21 out. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Fontes Fixas**. 2016a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/fontes-fixas>>. Acesso em: 14 out. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Padrões de qualidade do ar**. 2016b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/padroes-de-qualidade-do-ar>>. Acesso em: 14 out. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**. 2011. 114p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/163/\\_publicacao/163\\_publicacao27072011055200.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2016.

NAJAFI, G.; GHOBADIAN, B.; YUSAF, T.; ARDEBILI, S. M. S.; MAMAT, R. *Optimization of performance and exhaust emission parameters of a SI (spark ignition) engine with gasoline-ethanol blended fuels using response surface methodology*. **Energy**, v.90, n.2, p.1815-1829, 2015.

NAPRO. *Manual de operação, analisador de gases modelo 10.02/10J*. Disponível em: <<http://www.napro.com.br/analísadores.html>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

OLANYK, L. Z. **Avaliação das emissões gasosa de um motor mono-cilindro ciclo Otto utilizando diferentes misturas de gasolina com etanol e adulterante**. 2013. 130f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) -Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2013.

PASCHOALINI, G.; ALCARDE, V. E. *Estudo do processo fermentativo de usina sucroalcooleira e proposta para sua otimização*. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v.16, n.32, p.59–68, 2019.

PENIDO FILHO P. *Os motores à combustão interna*. 1st ed. vol. 1. Belo Horizonte: Ed. Lemi; 1983. 699 p.

RAMANATHAN, V.; FENG, Y. *Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives*. **Atmospheric Environment**, v.43, n.1, p.37–50, 2009.

RIBEIRO, C. B.; BURATTO, W. G.; GUERI, M. V. D.; SCABURI, G. R.; GONZELI, F. V. *Fermentação alcoólica do caldo da cana: parâmetros operacionais de resposta no processo*. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v.4, n. especial, p.465–472, 2015.

SAIJA, S.; ROMANO, D. *A methodology for the estimation of road transport air emissions in urban areas of Italy*. **Atmospheric Environment**, v.36, n.34, p.5377–5383, 2002.

SCHIRMER, W. N.; GAUER, M. A.; TOMAZ, E.; RODRIGUES, P. R. P.; SOUZA, S. N. M.; VILLETI, L. I. C.; OLANYK, L. Z.; CABRAL, A. R. *Power generation and gaseous emissions performance of an internal combustion engine fed with blends of soybean and beef tallow biodiesel*. **Environmental Technology**, v. 37, n. 12, p. 1480-1489, 2015.

SCHIRMER, W. N.; QUADROS, M. E. *Compostos orgânicos voláteis biogênicos emitidos a partir de vegetação e seu papel no ozônio troposférico urbano*. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba – SP**, v.5, n.1, p. 25-42, 2010.

SILVA, M.J.; SOUZA, S.N.M.; SOUZA, A.A.; MARTINS, G.I.; SECCO, D. *Motor gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 3, 2012.

SILVA, R.; MENEZES, E. W.; CATALUÑA, R. *Rendimento térmico e emissões de contaminantes atmosféricos de gasolinas formuladas com etanol, MTBE E TAAE*. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 980-984, 2008.

SYMEONIDIS, P.; ZIOMAS, I.; PROYOU, A. *Development of an emission inventory system from transport in Greece*. **Environmental Modelling & Software**, v.19, n.4, p.413–421, 2004.

THANGAVEL, V.; MOMULA, S. Y., GOSALA, D. B.; ASVATHANARAYANAN, R. *Experimental studies on simultaneous injection of etanol-gasoline and n-butanol-gasoline in the intake port of a four stroke SI engine*. **Renewable Energy**, v. 91, n. 1, p. 347-360, 2016.

TOYAMA. *Ficha técnica, modelo TG2800CX*. Disponível em: <<http://www.toyama.com.br/arquivos/produtos/1467659079.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017a.

TOYAMA. *Ficha técnica, modelo TG6500CXE*. Disponível em: <<http://www.toyama.com.br/arquivos/produtos/1467658357.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017b.

TURNER, D.; XU, H.; CRACKNELL, R. F.; NATARAJAN, V.; CHEN, X. *Combustion performance of bio-ethanol at various blend ratios in a gasoline direct injection engine*. **Fuel**, v. 90, n. 1, p. 1999–2006, 2011.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (ÚNICA). **Produção e uso de etanol combustível no Brasil.** São Paulo: 2007. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/documentos/publicacoes/pag=7>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (USEIA). **What is renewable energy?** 2016. Disponível em: <[https://www.eia.gov/energyexplained/?page=renewable\\_home](https://www.eia.gov/energyexplained/?page=renewable_home)>. Acesso em: 21 out. 2016.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Emission standards for new nonroad spark ignition engines at or below 19 kilowatts.** 122p. May, 1995.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Mobile sources of air pollution.** December, 2016. Disponível em: <<https://www.epa.gov/mobile-source-pollution/how-mobile-source-pollution-affects-your-health#mobile-sources>>. Acesso em: 27 dez. 2016.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Regulatory announcement: Proposed phase 2 standards for small spark-ignition engines.** EPA420-F-97-045. 5p. December, 1997.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Technical Overview of Volatile Organic Compounds.** April, 2017. Disponível em: <<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds#2>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

WEST, B.; KNOLL, K.; CLARK, W.; GRAVES, R.; ORBAN, J.; PRZESMITZKI, S.; THEISS, T. Effects of Intermediate Ethanol Blends on Legacy Vehicles and Small Non Road Engines. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 2008. 136p.

WU, C. W.; CHEN, R. H.; PU, J. Y.; LIN, T. H. *The influence of air fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol gasoline blended fuels.* **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 1, p. 7093-7100, 2004.

YAO, Y. C.; TSAI, J. H.; WANG, I. T. *Emissions of gaseous pollutant from motorcycle powered by ethanol-gasoline blend.* **Applied Energy**, v.102, n.1, p.93-100, 2013.

ZHU, R.; HU, J.; BAO, X.; HE, L, LAI, Y.; ZU, L., LI, Y.; SU, S. *Investigation of tailpipe and evaporative emissions from China IV and Tier 2 passenger vehicles with different gasolines.* **Transportation Research Part D.** v. 50, n.1, p.305-315, 2017.

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE A

Publicações relacionadas a este trabalho e assuntos relacionados (até a data de entrega da dissertação):

### **Trabalhos completos publicados em anais de congressos:**

RIBEIRO, C. B.; SCHIRMER, W. N.; DRINKO, M. A.; GUERI, M. V. D.; BURATTO, W. G. *A legislação como ferramenta no controle de qualidade da gasolina automotiva*. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, Gramado, 2016.

GINKO, M. A.; SCHIRMER, W. N. Verificação das emissões de gases inorgânicos e orgânicos totais decorrentes da combustão de gasolina e álcool etílico anidro combustível (AEAC) misturados em diferentes proporções. In: XXV Encontro Anual de Iniciação Científica (EAIC), 2016, Irati - PR. XXV EAIC - Anais, 2016.

### **Artigo publicado em periódico:**

SCHIRMER, W. N.; RIBEIRO, C. B. *Panorama dos combustíveis e biocombustíveis no Brasil e as emissões gasosas decorrentes do uso da gasolina/etanol*. **Biofix Scientific Journal**, v. 02, p. 16-22, 2017.