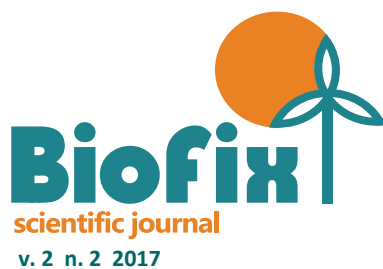


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



# PANORAMA DOS COMBUSTÍVEIS E BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL E AS EMISSÕES GASOSAS DECORRENTES DO USO DA GASOLINA/ETANOL

PANORAMA OF FUELS AND BIOFUELS IN BRAZIL AND GAS EMISSIONS  
DUE TO THE USE OF GASOLINE/ETHANOL

Recebido em 28/06/2017

Aceito em 02/08/2017

Publicado em 10/08/2017

DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v2i2.53539](http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v2i2.53539)

Camilo Bastos Ribeiro<sup>1</sup>

Waldir Nagel Schirmer<sup>2</sup>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil  
[cb\\_ambiental@hotmail.com](mailto:cb_ambiental@hotmail.com)<sup>2</sup> & [wanasch@hotmail.com](mailto:wanasch@hotmail.com)<sup>1</sup>

## RESUMO

A busca por alternativas para reduzir a extração do petróleo e a preocupação com a emissão de poluentes na atmosfera reforçam cada vez mais a importância da produção comercial dos biocombustíveis. Nesse cenário, desde a década de 1970, o etanol é comercializado no Brasil, e desde 2005 existem esforços para o biodiesel alcançar proporções significativas na matriz energética brasileira. A literatura referente às emissões gasosas oriundas da queima de diesel/biodiesel e gasolina/etanol reporta a redução significativa de hidrocarbonetos (HC) e monóxido de carbono (CO), quando os biocombustíveis são adicionados aos combustíveis fósseis. O presente trabalho aborda uma breve revisão da situação atual dos combustíveis e biocombustíveis líquidos utilizados no Brasil (com ênfase no etanol), destacando alguns ganhos ambientais ao se substituir os combustíveis fósseis por renováveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bioenergia, Motores do ciclo Otto, Poluição atmosférica.

## ABSTRACT

The search for alternatives to reduce oil extraction and concern with pollutant emissions into the atmosphere reinforces the importance of biofuels commercial production. In this situation, since the 1970s, ethanol has been commercialized in Brazil, and since 2005 there have been efforts for biodiesel to reach significant proportions in the Brazilian energy matrix. The literature on gas emissions from the diesel/biodiesel and gasoline/ethanol burning reports a significant reduction of hydrocarbons (HC) and carbon monoxide (CO) when biofuels are added to fossil fuels. The present paper addresses a brief review of the current situation of liquid fuels and biofuels used in Brazil (with emphasis on ethanol), highlighting some environmental gains when replacing fossil fuels with renewable ones.

**KEYWORDS:** Bioenergy, Atmospheric pollution, Otto-cycle engines.

## 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). No Brasil, as iniciativas de síntese e comercialização de combustíveis alternativos iniciaram na década de 1970, por meio do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), tendo como objetivo a redução da dependência dos combustíveis fósseis em veículos automotores, por meio do uso do etanol (COSTA et al., 2010).

O etanol é um combustível renovável, sendo o biocombustível mais consumido no Brasil e considerado uma alternativa à gasolina em motores do ciclo Otto. Muitos estudos apontam redução significativa no lançamento de poluentes na atmosfera com o seu uso (AGARWAL, 2007; CHEN et al., 2011; GHAZIKHANI et al., 2013; YAO et al., 2013; BILLAH et al., 2014; IODICE; SENATORE, 2014; NAJAFI et al., 2015).

Além de reduzir as emissões de poluentes ambientalmente relevantes, é um combustível mais limpo e ecologicamente correto, comparado à gasolina. Diante desse cenário, a presente revisão traz uma abordagem atual dos combustíveis e biocombustíveis na matriz energética brasileira, com ênfase no etanol, destacando a viabilidade ambiental, referindo-se, principalmente, às emissões de poluentes na atmosfera.

## COMBUSTÍVEIS E BIOCMBUSTÍVEIS NO BRASIL

Os combustíveis fósseis mais consumidos no Brasil são o óleo diesel e a gasolina. Por outro lado, o etanol, proveniente da cana-de-açúcar, e o biodiesel, produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, são os biocombustíveis mais consumidos em território nacional (KNOTHE et al., 2006; ANP, 2017a).

O Brasil foi um dos precursores no uso de biocombustíveis em nível mundial e segue em busca de alternativas ao uso do petróleo (ANP, 2017a). No âmbito do PROÁLCOOL, houve a introdução do etanol no mercado de combustíveis em que, ainda na década de 1970, o teor de álcool etílico anidro combustível (AEAC) na gasolina representava 15%.

O incentivo na inserção do etanol no mercado de combustíveis seguiu em constante crescimento. Nas décadas de 1980 e 1990, os teores de AEAC na gasolina correspondiam a 20% e 25%. Em 2004, foi lançado 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 7%, cujo percentual de AEAC na gasolina é de até 27% (UNICA, 2007; MAPA, 2015).

## 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, denominado de ciclo diesel e encontrados principalmente em veículos rodoviários, ferroviários e marítimos (ANP, 2017b).

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a comercialização do diesel em território nacional segue uma distinção de acordo com as diversas aplicações do produto. As principais diferenças entre os óleos marítimos, rodoviários e não-rodoviários estão no número de cetano mínimo, teor de enxofre máximo, coloração, quantidade de aditivos e período de armazenamento (ANP, 2017b).

Em 2015, o consumo de diesel representou 18,4% do total de combustíveis consumidos no Brasil e 44,4% do total consumido no setor de transportes, com 48.033 toneladas equivalente de petróleo. As constantes preocupações com a dependência dos combustíveis fósseis para suprir a demanda por energia tiveram resultados positivos, sendo que, de 2014 a 2015, o percentual de consumo de diesel no país caiu 4,3% (EPE, 2016).

Além da questão de crise por recursos energéticos não-renováveis, atualmente, outra grande preocupação é a degradação da qualidade do ar, resultante da combustão de combustíveis fósseis, uma vez que os motores movidos à diesel emitem grandes quantidades de hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

Esses gases são ambientalmente relevantes por serem reativos na atmosfera, participarem da formação de poluentes secundários, promoverem a degradação da qualidade do ar e, além disso, são potenciais contribuintes para o efeito estufa na atmosfera, o que, por sua vez, causa o aquecimento global. Por meio desses conceitos, torna-se essencial o desenvolvimento e a comercialização compulsória de combustíveis alternativos aos fósseis, em que o abastecimento eficiente de combustíveis a partir de fontes renováveis é uma opção para enfrentar esses desafios (HASAN; RAHMAN, 2017).

## Gasolina

A gasolina é composta por hidrocarbonetos parafínicos normal ou ramificados, olefínicos, 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, 2016).

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. A gasolina pode ser comum ou aditivada, sendo a última com maior número de octano, permitindo maiores taxas de compressão no motor (ANP, 2017c).

Segundo a ANP (2017c), 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 nº 40/2013 ao estabelecer 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 apresenta 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).

Em 2015, o consumo de gasolina representou 8,9% do total de combustíveis consumidos no Brasil e 27,7% do total consumido no setor de transportes, com 23.306 toneladas equivalente de petróleo. Ainda, no ano de 2015, ocorreu a redução de 9,5% no consumo de gasolina, sendo essa redução compensada pelo consumo de etanol, que cresceu 18,6% de 2014 para 2015.

Essas substituições implicaram na evolução do percentual renovável na matriz energética nacional de transportes de 18% em 2014 para 21% em 2015. A busca para aumentar a contribuição de biocombustíveis alternativos à gasolina na matriz energética acontece em função dos impactos ambientais irreversíveis da extração mineral, bem como das significativas emissões gasosas de motores do ciclo Otto que, assim como os motores ciclo Diesel, emitem elevadas quantidades de HC, CO e NOx (EPE, 2016).

## 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 da gordura animal

(KNOTHE et al., 2006). Dentre as principais matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil estão: óleo de soja, sendo a principal matéria-prima, com cerca de 77,7% do total; gordura animal (18,8% do total); óleo de algodão (2%); e outros materiais graxos, com participação de 1,5% do total (ANP, 2016).

Desde 2014, a porcentagem de biodiesel no diesel comercializado em território nacional é de 7%. Atendendo à essa demanda, a produção de biodiesel no Brasil foi de 3,9 milhões de m<sup>3</sup> em 2015. Essa demanda foi atendida com folga, frente à capacidade nominal no país no mesmo ano de 7,4 milhões de m<sup>3</sup>. As regiões Centro-Oeste e Sul são predominantes na produção de biodiesel no país, apresentando, respectivamente, 44,4% e 38,4% da produção nacional (ANP, 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; PEREIRA, 2016).

Miranda (2007) avaliou as emissões de poluentes do diesel, biodiesel de resíduos de óleos de fritura e suas misturas. Os gases inorgânicos foram avaliados com analisadores automáticos, enquanto os orgânicos foram amostrados e analisados por cromatografia gasosa/espectrometria de massa. Os resultados mostraram redução das concentrações de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), CO e SO<sub>2</sub> quando do acréscimo do teor de biodiesel no diesel.

Schirmer et al. (2015) avaliaram biodiesel de soja e de gordura bovina misturados ao diesel em um motor monocilíndrico e concluíram que os hidrocarbonetos sofrem redução em suas emissões quando da adição de biodiesel ao diesel. O biodiesel, além de emitir menos poluentes atmosféricos durante a queima, principalmente pela maior concentração de oxigenados em sua composição, é derivado de biomassa vegetal, podendo ser considerado menos impactante que o petróleo.

Além disso, os biocombustíveis em geral são atrativos sob o ponto de vista do aquecimento global. O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitido pela combustão do biodiesel tem fixação contínua pelos vegetais cultivados como matéria-prima de tal combustível. Assim, o tempo de fixação do CO<sub>2</sub> proveniente da combustão do biodiesel é menor quando comparado ao tempo do ciclo do diesel. Essa vantagem constitui-se, inclusive, como base para

elaboração de projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) (SCHIRMER; GAUER, 2012).

## Etanol

O etanol é uma substância pura, composta apenas por uma molécula de  $C_2H_5OH$ . Esse biocombustível está inserido no mercado nacional como etanol anidro (AEAC) e etanol etílico hidratado combustível (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 de 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 por meio da retirada da parcela de água excedente (UNICA, 2007; BRUNETTI, 2012).

O etanol pode ser sintetizado a partir de matérias-primas sacaríneas, principalmente da cana-de-açúcar, ou de materiais amiláceos e da biomassa lignocelulósica, como etanol de segunda geração. No caso da cana, considerada a principal matéria-prima para produção de etanol no Brasil, são gerados grandes excedentes de bagaço e de palha. Esses resíduos lignocelulósicos apresentam potencial para serem transformados em etanol de segunda geração, dando condições de aproveitamento integral da cana-de-açúcar (SÁNCHEZ; CARDONA, 2008).

O etanol é obtido comumente pela fermentação alcoólica, que consiste na transformação de açúcar em álcool por meio da levedura *Saccharomyces cerevisiae* Meyen ex E.C. Hansen, em condições de anaerobiose. Os principais parâmetros que influenciam no processo de fermentação alcoólica são o pH, a temperatura, a concentração celular, os açúcares redutores totais (ART) e o tipo de reator, os quais podem ditar o ritmo e a efetividade da conversão da matéria-prima em produto (PASCHOALINI; ALCARDE, 2009; RIBEIRO et al., 2015).

O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de cana-de-açúcar e possui posição de destaque na produção de etanol. Incentivos governamentais têm estimulado o desenvolvimento dessa matéria-prima para produção do etanol como alternativa à gasolina, promovendo menor demanda por importações de combustível. Nesse sentido, um grande avanço para a inserção do etanol no Brasil foi a introdução dos motores bicombustíveis *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, em que 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 Gás Natural Veicular (GNV) estão incluídos nas frotas *flex* e à gasolina C, cuja estimativa de representação é de 2% da frota total de leves (EPE, 2016).

Em 2015, a produção nacional de etanol totalizou 29,9 milhões de  $m^3$ . Ainda no ano de 2015, o Brasil importou 512,9 mil de  $m^3$  e exportou 1,9 milhões de  $m^3$  de etanol, com elevação de 33,6% nas exportações desse biocombustível, comparado ao ano de 2014. Os principais destinos do etanol brasileiro foram (ANP, 2016): América do Norte, em especial aos Estados Unidos (925,9 mil de  $m^3$ ); Américas Central e do Sul (18,9 mil de  $m^3$ ); e região Ásia-Pacífico (728 mil de  $m^3$ ).

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 na 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; SENATORE, 2014; LI et al., 2015; NAJAFI et al., 2015; ZHU et al., 2017).

## EMISSÕES GASOSAS DE GASOLINA E ETANOL EM MOTORES DO CICLO OTTO

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.

Koç et al. (2009) realizaram testes com gasolina A e suas misturas com AEAC (50% gasolina + 50% AEAC e 15% gasolina + 85% AEAC) em um motor monocilíndrico com potência máxima de 15 kW, variando as rotações de 1.500 rpm a 5.000 rpm, com intervalos de 500 rpm. Os resultados obtidos 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. 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 1.000 rpm a 6.000 rpm, com intervalos de 1.000 rpm. Os autores concluíram que todas as misturas de gasolina com álcool reduziram as emissões de CO e HC, quando comparado aos de gasolina pura.

Yao et al. (2013) utilizaram formulações de 15% de etanol na gasolina pura (E15) para avaliar o comportamento das emissões de CO e HC em duas motocicletas de quatro tempos, sendo uma equipada com carburador para injeção mecânica de combustível e outra com injeção eletrônica. Os resultados mostraram que as emissões de CO e HC 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 HC da motocicleta com injeção eletrônica foram menores comparadas às variações da motocicleta carburada.

Jia et al. (2005) avaliaram as emissões de CO, HC e NOx em um motor monocilíndrico de quatro tempos com 7 kW de potência máxima. Os testes utilizaram gasolina pura e sua mistura com 10% de AEAC (E10). 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, os quais 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 4,85 kW de potência máxima, utilizando formulações de gasolina pura misturadas a 5, 10, 15, 20 e 25% de AEAC e diferentes cargas aplicadas ao motor (240, 600, 1.200, 1.800 e 2.000 W, além do ponto-morto). O autor observou 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.

Esses trabalhos citados corroboram a afirmação de que as emissões nos motores do ciclo Otto são

diretamente dependentes da matéria-prima precursora e das condições de operação do motor, como carga e potência. Entretanto, em qualquer caso, há um consenso de que o uso do etanol reduz a emissão dos poluentes atmosféricos regulamentados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A política brasileira de incentivo para a inserção do etanol na matriz energética, além de ser pioneira, é destaque mundial por possuir objetivos de inclusão social e desenvolvimento regional, além da sustentabilidade ambiental no uso de combustíveis. No entanto, em território nacional, existe carência de estudos e discussão que abordem a viabilidade ambiental do etanol, referindo-se principalmente às emissões gasosas.

Nesse contexto, o presente trabalho buscou enfatizar que o uso de biocombustíveis é uma alternativa para reduzir os impactos tanto da extração do petróleo, quanto da queima de combustíveis fósseis. Além disso, a redução significativa da emissão de gases que causam depleção do ozônio estratosférico, chuva ácida, formação de ozônio troposférico, entre outros, pode ocorrer por meio da substituição da gasolina pelo etanol.

Assim, é necessário dar continuidade às pesquisas que abordem as emissões gasosas oriundas da queima de gasolina, etanol e suas misturas, bem como outros combustíveis oxigenados, como butanol e propanol, possibilitando a compreensão e possíveis comparações dos aspectos e impactos ambientais relacionados ao uso de tais combustíveis.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto.

## REFERÊNCIAS

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Biocombustíveis**. 2017a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis?view=default>>. Acesso em: 28/07/2017.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Gasolina**. 2017c. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1855-gasolina>>. Acesso em: 28/07/2017.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Óleo diesel**. 2017b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1855-oleo-diesel>>.

[bustiveis/1857-oleo-diesel](#)>. Acesso em: 28/07/2017.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 2016. 265 p. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/Anuario\\_Estatistico\\_ANP\\_2016.pdf](http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/Anuario_Estatistico_ANP_2016.pdf)>. Acesso em: 04/05/2017.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 21/09**. 2009. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=111847>>. Acesso em: 04/05/2017.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 30/15**. 2015. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=286284>>. Acesso em: 04/05/2017.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 40/13**. 2013. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=261207>>. Acesso em: 04/05/2017.

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

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.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. v. 1. São Paulo: Blucher, 2012, 553 p.

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. 8-9, p. 1463-1467, 2011.

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.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2016: Ano base 2015**. 2016. 62 p. Disponível em: <<http://www.cbdb.org.br/informe/img/63socios7.pdf>>. Acesso em 28/07/2017.

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

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

HASAN, M. M.; RAHMAN, M. M. Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: a review. **Renewable**

**and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 938–948, 2017.

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. 340 p.

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.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Portaria MAPA nº 75/15**. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=281775>>. Acesso em: 04/05/2017.

MIRANDA, G. R. **Avaliação das emissões atmosféricas provenientes da combustão do diesel, biodiesel de óleo de fritura e suas misturas**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

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.

OLANYK, L. Z. **Avaliação das emissões gasosa de um motor mono-cilindro ciclo Otto utilizando diferentes misturas de gasolina com etanol e adulterante**. 2013. 130 f. 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, 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, p. 465-472, 2015.

SÁNCHEZ, O. J.; CARDONA, C. A. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 5270-5295, 2008.

SCHIRMER, W. N.; GAUER, M. A. Os biocombustíveis no Brasil: panorama atual, emissões gasosas e os métodos analíticos de monitoramento da qualidade do ar referente a gases de

natureza orgânica. **Ambiência**, v. 8, n. 1, p. 157-175, 2012.

SCHIRMER, W. N.; GAUER, M. A.; TOMAZ, E.; RODRIGUES, P. R. P.; SOUZA, S. N. M.; VILLETTI, 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.

UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Produção e uso de etanol combustível no Brasil**. São Paulo: 2007. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/documentos/publicacoes/pag=7>>. Acesso em: 04/05/2017.

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: Transport and Environment**, v. 50, n. 1, p. 305-315, 2017.