

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**TECNOLOGIAS PARA MOTORES DIESEL VISANDO
REDUÇÃO DE EMISSÃO DE POLUENTES**

GUILHERME MENEZES SIMON

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017**

**TECNOLOGIAS PARA MOTORES DIESEL VISANDO REDUÇÃO DE EMISSÃO
DE POLUENTES**

GUILHERME MENEZES SIMON
Graduando em Engenharia Agrícola

Orientador: PROF. DR. CRISTIANO MÁRCIO ALVES DE SOUZA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte das exigências para conclusão do curso de
Engenharia Agrícola.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S594t Simon, Guilherme Menezes

Tecnologias para motores diesel visando redução de emissão de poluentes /
Guilherme Menezes Simon -- Dourados: UFGD, 2017.

30f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Cristiano Márcio Alves De Souza

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) -Faculdade de Ciências Agrárias,
Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Bicomcombustível. 2. Sustentabilidade. 3. Vaporização. 4. Motor de
combustão interna. 5. Etanol. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

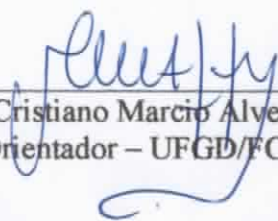
**TECNOLOGIAS PARA MOTORES DIESEL VISANDO REDUÇÃO DE EMISSÃO
DE POLUENTES**

Por


Guilherme Menezes Simon

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA


Aprovado em: 04 de abril de 2017.



Prof. Dr. Cristiano Marcio Alves de Souza
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando
Membro da Banca – UFGD/FCA



Prof. Dr. Natanael Takeo Yamamoto
Membro da Banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me abençoar muito mais que eu mereço.

À Universidade Federal da Grande Dourados, por me qualificar em Engenharia Agrícola.

Ao Professor Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza, por me orientar nesta caminhada.

Ao Professor Dr. Roberto Carlos Orlando, por me ajudar com ideias e técnicas.

Ao Professor Dr. Natanael Takeo Yamamoto, por me ajudar com ideias, apoio a não desistir e fazer o meu melhor.

Meus pais, Pedro e Rosângela, as minhas irmãs, Eveline e Nathalia, pelo apoio e incentivo ao curso durante toda a minha caminhada.

A minha namorada Camila, por me apoiar nas horas difíceis e no meu projeto.

A Luana, por me ajudar com seus conhecimentos, apoio, cobranças e conselhos.

Aos amigos João, Ademar, Lucas, Isabela, Débora, William e Julia, pelo apoio, conversas, confiança e amizade.

Ao Técnico do laboratório, Alexandre, por estar presente e aconselhar.

Ao Projeto Baja Guaicurus, por me ensinar como lidar com os problemas nas horas de desespero.

A Agro Mecânica Sul Mato-grossense, por ser minha inspiração desde sempre.

SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE QUADROS.....	VI
LISTA DE SIGLAS.....	VII
RESUMO.....	VIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATÉRIAS PRIMAS E SEUS COMBUSTÍVEIS	3
2.1. PETRÓLEO	4
2.2. BIOMASSA	4
3. PADRÕES AMBIENTAIS	6
3.1. VEÍCULOS PESADOS (FASE P)	7
3.2. MÁQUINAS AGRÍCOLAS E RODOVIÁRIAS (MAR – I)	7
4. TECNOLOGIAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES UTILIZANDO SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR ETANOL NOS MOTORES DIESEL.....	8
4.1. SUBSTITUIÇÃO TOTAL DO ÓLEO DIESEL POR ETANOL.....	8
4.1.1. Ethanol Bus	10
4.1.2. Ônibus Verde.....	10
4.1.3. Scania P270	12
4.2. SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO ÓLEO DIESEL POR MISTURA COM ETANOL.....	13
4.3. SUBSTITUIÇÃO TOTAL DE ÓLEO DIESEL COM USO DE VELAS AQUECEDORAS	15
4.4. SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO ÓLEO DIESEL POR INJEÇÃO DE ETANOL NO COLETOR DE ADMISSÃO.....	17
4.4.1. Iveco Trakker – Bi Fuel Ethanol-Diesel.....	18
4.5. SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO ÓLEO DIESEL POR INJEÇÃO DE ETANOL INTERNAMENTE AO CILINDRO DO MOTOR NO INÍCIO DO TEMPO DE COMPRESSÃO	20
5. TECNOLOGIAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES NOS MOTORES DIESEL.....	20
5.1. CONTROLE ELETRÔNICO DE INJEÇÃO OU CONTROLE ELETRÔNICO DE DIESEL (EDC).....	20
5.2. RECIRCULAÇÃO DO GÁS DE ESCAPAMENTO (EGR)	21
5.3. REDUÇÃO CATALÍTICA SELETIVA.....	21
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
FIGURA 1. ÁREA PLANTADA COM CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL	6
FIGURA 2. ÔNIBUS VERDE	11
FIGURA 3. SCANIA P270 MOVIDO EXCLUSIVAMENTE POR ETANOL EM MOTOR CICLO DIESEL	13
FIGURA 4. CABEÇOTE DE UM MOTOR MWM SPRINT	16
FIGURA 5. TORQUE EM FUNÇÃO DA TENSÃO DA VELA	17
FIGURA 6. IVECO TRAKKER BI-FUEL ETHANOL-DIESEL	19
FIGURA 7. MOTOR COM RECIRCULAÇÃO DO GÁS DE ESCAPAMENTO	21
FIGURA 8. FUNCIONAMENTO DA REDUÇÃO CATALÍTICA SELETIVA	23

LISTA DE QUADROS

	Página
QUADRO 1. CRESCIMENTO DE ÁREA CULTIVADA E FROTA DE TRATORES	2
QUADRO 2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO ÁLCOOL E DO ÓLEO DIESEL	4
QUADRO 3. OS MAIORES PRODUTORES MUNDIAIS DE ETANOL	5
QUADRO 4. LIMITES MÁXIMOS DE EMISSÕES PARA MOTORES DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS E RODOVIÁRIAS	8
QUADRO 5. DIFERENÇAS EM MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE DOIS MOTORES DE MESMA POTÊNCIA QUE UTILIZAM COMBUSTÍVEIS DIFERENTES	12

LISTA DE SIGLAS

CO₂ – Dióxido de Carbono

cv – Cavalos Vapor

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimento e Agricultura

Gow Plugs – Vela Aquecedora

HC – Hidrocarboneto

km - Quilometro

km L⁻¹ – Quilometro por litro

kW – Quilo Watts

MJ kg⁻¹ – Mega Joule por Quilograma

MP – Material Particulado

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

ppm – Parte por milhão

PROCONVE – Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores

rpm – Rotações por minuto

SO_x – Oxido de Enxofre

ÚNICA – União da Indústria da Cana-de-Açúcar

V – Volts

SIMON, G.M. **Tecnologias para motores diesel visando redução de emissão de poluentes.** 2017. 30f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

RESUMO

A humanidade vem explorando e extraíndo os recursos naturais do planeta de forma arduosa. A indústria automobilística a cada ano produz cerca de 50 milhões de veículos automotores movidos a combustíveis fósseis, dentre eles o diesel, classificado como uma das alternativas mais poluentes, assim existe a necessidade de soluções com menores impactos ambientais e economicamente justos. Neste contexto, o propósito do trabalho é uma revisão de literatura tendo como principal objetivo pesquisar por tecnologias disponíveis de substituição total ou parcial de óleo diesel por etanol. O que permitirá obter conhecimento sobre a utilização de biocombustíveis com relação a menor custo, eficiência, vantagens e desvantagens e possibilitando assim maior expectativa de crescimento a meios sustentáveis no mundo atual. As buscas bibliográficas foram realizadas em artigos publicados em periódicos científicos nacionais e internacionais, sítios de internet e anais de congresso. As novas tecnologias encontradas foram substituição total do óleo diesel por etanol, substituição parcial do óleo diesel por mistura com etanol, substituição total de óleo diesel com uso de velas aquecedoras, substituição parcial do óleo diesel por injeção de etanol no coletor de admissão, substituição parcial do óleo diesel por injeção de etanol internamente ao cilindro do motor no início do tempo de compressão, controle eletrônico de injeção, recirculação do gás de escape, redução catalítica seletiva. O estudo demonstrou que o uso de motores com injeção direta de óleo diesel com adição de etanol em motor diesel é pouco difundido nos estudos e nas indústrias brasileiras e as alternativas em uso ou em estudos se mostram economicamente inviáveis para a implementação atualmente devido ao alto custo de implantação e manutenção.

Palavras-chave: bicombustível, sustentabilidade, vaporização, motor de combustão interna, etanol.

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos o aumento populacional e as condições de vida humana têm se mostrado como os principais meios de fontes poluidoras. Um importante causador de poluição ambiental é oriundo das grandes cidades, como os combustíveis fósseis que são formados por meios de processos naturais, como carvão mineral e derivados do petróleo, originados da decomposição de organismos animais e vegetais durante milhares de anos (FOGAÇA, 2016). Durante a sua combustão há geração de grandes quantidades de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azoto e dióxido de enxofre, onde são lançados diretamente na atmosfera substâncias que contribuem para o aquecimento do planeta (DRUMM et al., 2014).

O setor de transporte responde a 20% das emissões globais de CO₂, nos quais os veículos a diesel representam uma grande parte desta porcentagem, que é um dos principais gases causadores do efeito estufa, sem considerar a emissão de outros gases também nocivos ao meio ambiente. No Brasil, informações do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), o setor de transporte responde por cerca de 9% das emissões totais de CO₂ (CNT, 2009). Segundo o Programa de Controle da Poluição do ar por Veículos Automotores (PROCONVE) constata-se que um automóvel atual emite 28 vezes menos que um veículo produzido nos anos 1980 (CNI, 2012).

Em 2011 no Brasil, o total de emissões de CO₂ distribuídos na modalidade de automóvel era de 57,4%, ônibus com 27,2% e veículos pesados se distribuí em terceiro lugar com 12,1% (CARVALHO, 2011).

A Abimaq mostra que as exportações de máquinas para a agricultura tiveram um crescimento de 40,7% entre janeiro e fevereiro, liderando o ranking dos sete segmentos fabricantes de equipamentos. No período de um ano, o crescimento do segmento agrícola chega a 50,6%. Levando-se em conta toda a exportação de máquinas brasileiras, as agrícolas são responsáveis por 12,6% do setor e as importações caíram 37,7% em fevereiro, na comparação com janeiro. No acumulado do ano, houve um crescimento de 25,3% (ABIMAQ, 2017). Podemos observar no Quadro 1 a grande expansão de área cultivada ao longo dos anos e juntamente o grande crescimento da frota de tratores.

QUADRO 1. Crescimento de área cultivada e frota de tratores

Ano	(1000ha) Área Cultivada	(Unidade) Frota de tratores
1960	25.673	62.684
1965	31.637	76.691
1970	34.912	97.160
1975	41.811	273.852
1980	47.641	480.340
1985	49.529	551.036
1990	47.666	515.815
1995	50.038	481.316
2000	53.300	450.000
2005	59.399	354.722
2006	57.445	336.589

Fonte: VEGRO (1997) apud VIAN e ANDRADE JUNIOR (2010).

Estimativas da CETESB (2005) para São Paulo, por exemplo, indicam que 96% da emissão de gases na cidade provem de origem veicular, nota-se também que 53% dos poluentes estão relacionados aos veículos de passeio, tratando-se de 36% aos movidos à gasolina e 9,7% aos movidos à álcool. Estima-se que 31% são correspondidos a veículos movidos a diesel, entre eles caminhões, ônibus e máquinas agrícolas (KERR et al., 2009).

A expansão de combustíveis renováveis no campo, torna-se cada vez mais um importante meio para uma adequação de produção sustentável, com investimentos em inovações nos veículos automotores. Com novas tecnologias de motores e de combustíveis alternativos, melhorando a eficiência mecânica e térmica, com isso reduzindo o consumo do combustível por quilometro rodado, emissões de gases, principalmente CO₂, maior causador do efeito estufa.

Um combustível renovável que está cada vez mais se destacando no mercado é o etanol, pois tem um excelente resultado energético, ambientalmente viável e sustentável, pois é miscível em água que conseqüentemente reduz os gases poluentes e aumentando a quantidade de vapor de água. O Brasil é considerado um dos maiores produtores de etanol do mundo juntamente com Estados Unidos (KOHLHEPP, 2010). Historicamente, o Brasil é referência na produção sustentável e eficiente do etanol, utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar diferentemente dos Estados Unidos que utilizam o milho.

É notório o aumento de veículos que utilizam etanol, tanto como combustível puro, quanto misturado juntamente com a gasolina, com grandes benefícios (KOHLHEPP, 2010). No entanto, por muitos anos preocuparam-se muito com veículos e motos, esquecendo-se do grande número de caminhões, transportes públicos, tratores e máquinas agrícolas movidos a diesel muito utilizado no país.

O mundo inteiro tem-se voltado para criar e melhorar tecnologias mais sustentáveis como, veículos elétricos, movidos a hidrogênio, híbridos, motores com alto rendimento, mas se esquecem de que a grande massa de veículos e máquinas pesadas. As empresas de veículos pesados estão começando a aperfeiçoar essa grande frota no Brasil, marcas como Scania e Iveco estão com projetos e protótipos em testes em busca de melhorias.

A Scania realiza testes em ônibus de transporte público utilizando motor diesel com substituição total pelo etanol, visando em diminuir a poluição e melhorar o custo benefício do veículo. Denominado de Ônibus Verde, em testes no Brasil e em outros países, busca redução de 90% na emissão de CO₂ na comparação com motores a diesel (SCANIA, 2011).

No ano de 2011 uma criação no Brasil mostrou-se bastante promissora, com a construção de um protótipo denominado Iveco Trakker Bi-Fuel Ethanol-Diesel, que propõe a nova tecnologia, a redução do consumo de óleo diesel em motores de grande porte, pela adição de etanol, que funciona de acordo com a utilização do caminhão, podendo chegar a 85% em certos regimes, o que assegura uma importante contribuição ambiental, uma vez que reduz o uso de combustível fóssil (IVECO, 2011).

Neste contexto, o propósito do trabalho é uma revisão de literatura tendo como principal objetivo pesquisar por tecnologias disponíveis de substituição total ou parcial de óleo diesel por etanol. O que permitirá obter conhecimento sobre a utilização de biocombustíveis com relação a menor custo, eficiência, vantagens e desvantagens e possibilitando assim maior expectativa de crescimento a meios sustentáveis no mundo atual.

As buscas bibliográficas foram realizadas em artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, sítios de internet e anais de evento. Optou-se pela busca através do uso de palavras chaves, pelo qual permite a maior detecção de trabalhos publicados dentro dos critérios estabelecidos, as palavras-chaves pesquisadas foram: substituição de diesel, sustentabilidade, fumigação, motor de combustão interna, nebulização, diesel, etanol, substituição de diesel por etanol, injeção no coletor de admissão, motores diesel.

2. MATÉRIAS PRIMAS E SEUS COMBUSTÍVEIS

Os principais combustíveis discutidos são oriundos de diferentes fontes, será apresentado as principais características da matéria prima de um combustível fóssil e de um renovável. Podemos conferir algumas características químicas dos combustíveis, álcool e óleo diesel no Quadro 2.

QUADRO 2. Características químicas do álcool e do óleo diesel

Propriedades	Álcool Anidro	Álcool Hidratado	Óleo Diesel
Formula química	C ₂ H ₅ OH	C ₂ H ₅ OH 19H ₂ O	C ₁₆ H ₃₄
Peso molecular	46	-	226
Relação estequiométrica ar/combustível	8,96/1	8,3/1	14,4/1
Temp. de ebulição (°C)	65	78,2	180 a 360
Calor latente de vaporização (kcal/kg)	216	237	-
Temp. de autoignição (°C)	550	580	250
Poder calorífico inferior (kJ/kg)	28865	27420	42600
Índice de Cetano	3	8	50
Índice de octano método motor	89	92	-
Índice de octano calculado	158	162	20
% em massa	99,2	93,5	-
% em volume	99,5	95,0	-

Fonte: BRAMBILA et al. (2006).

2.1. Petróleo

O óleo diesel tem como matéria prima o petróleo, que de acordo com Almeida (2010) cada campo de petróleo produz um tipo de óleo. Logo, existem vários tipos de petróleos no mercado atual, mas a sua composição química basicamente é o resultado de uma mistura de hidrocarbonetos, moléculas compostas de carbono e hidrogênio e compostos voláteis (ALMEIDA, 2010; PAUFERRO 2012).

Há praticamente três características que são predominantes no petróleo que os diferenciam:

- 1 – Tipo de hidrocarboneto predominante;
- 2 – Densidade, que resulta em tipo leve, médio ou pesado, esta propriedade é definida pela *American Petroleum Institute* (API);
- 3 – Teor de enxofre, define o petróleo como *sweet*, para concentrações de até 0,5% de sua massa, ou ácidos se a concentração for maior que 0,5%.

2.2. Biomassa

A partir da crise do petróleo de 1973, o mundo teve a necessidade de procurar um novo combustível produzido de fontes renováveis, a partir destas alternativas o etanol demonstrou bons resultados.

O Álcool é obtido a partir de fontes renováveis como a cana-de-açúcar, beterraba e milho ou a partir da oxigenação dos gases metano e etano. No Brasil é obtido a partir da sacarose, pelo processo de fermentação da garapa da cana-de-açúcar.

A partir de 1975, com a criação do programa Proálcool começou-se a expandir e implementar o uso desse combustível pelo país. Um dos principais fatores que viabilizou a produção em larga escala, capaz de abastecer o mercado brasileiro com razoável competitividade foi a cogeração, que permitiu a utilização do bagaço da cana que, por sua vez, produzem energia utilizada no próprio processo produtivo do etanol (CAMPOS, 2010).

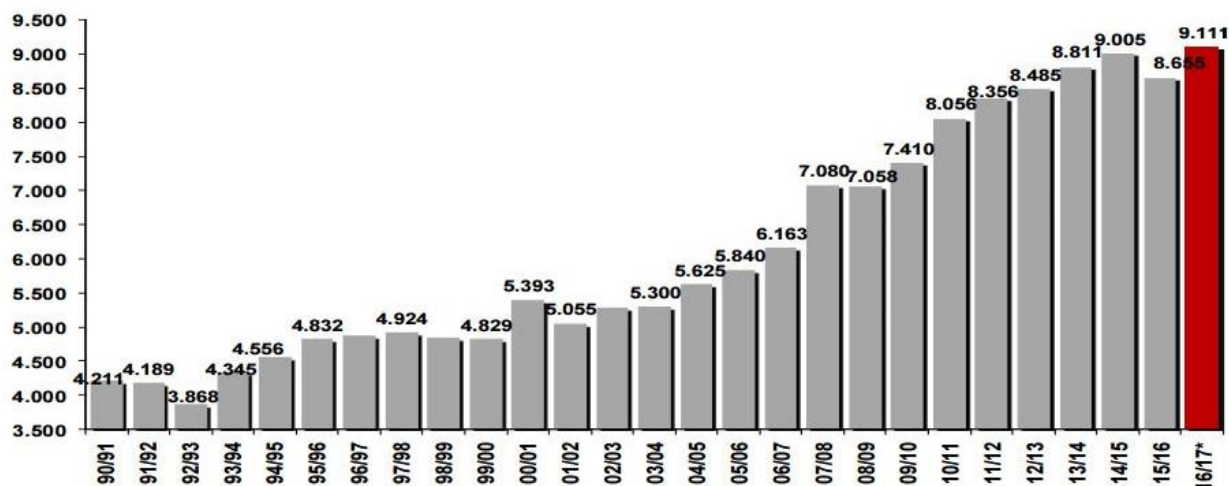
Nos Estados Unidos, o etanol é obtido por amilase de grãos de milho, esse processo produz cerca de 3,7 mil litros por hectare contra os 7 mil litros por hectare de cana-de-açúcar no Brasil e não tem sido economicamente viável, tendo a necessidade de incentivos do governo federal. Segundo Olivério (2008), a produtividade do etanol da cana-de-açúcar por ha no Brasil (6.800 litros) é quase o dobro da do etanol de milho nos Estados Unidos (3.800 litros) (OLIVÉRIO, 2008 apud KOHLHEPP, 2010).

Em um estudo para avaliação da perspectiva nos anos de 2008/2012 baseada na produção e consumo de etanol no mundo realizado pela União da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA), observa-se o crescimento constante da produção de etanol do mundo, o que o torna um combustível renovável em ascensão. Na Figura 1 notamos o aumento da área plantada de cana-de-açúcar no Brasil ao longo de 26 anos e no Quadro 3 observa-se a principais produtores de etanol entre eles, Estados Unidos, Brasil e União Europeia no ano de 2015.

QUADRO 3. Os maiores produtores mundiais de etanol (2015)

Produtores	Produção (%)
Estados Unidos	57,5
Brasil	27,7
União Europeia	5,4
China	3,2
Canada	1,7
Tailândia	1,3
Argentina	0,8
Outros	1,5

Fonte: RFA, DEPEC (2017).



Fonte: CONAB, DEPEC (2017). *Projeção.

FIGURA 1. Evolução da área plantada com cana-de-açúcar no Brasil.

3. PADRÕES AMBIENTAIS

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). O SISNAMA foi instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90. Uma das competências do CONAMA é de estabelecer, privativamente, normas e padrões nacionais de controle de poluição causada por veículos automotores, aeronaves e embarcações, mediante audiência nos Ministérios competente (BRASIL, 2017).

O CONAMA aplicou diversas ações por meio da Resolução N°18/86, como exemplo o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), criado em 1986 para executar as políticas estabelecidas. Dentre as ações destacou-se a redução dos níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente em centros urbanos e promoção do desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaio e medições da emissão de poluentes (BRASIL, 2017).

Verificando o grande crescimento deste setor e os efeitos negativos, o PROCONVE implantou a PROCONVE/MAR-I (Máquinas Agrícolas e Rodoviárias), uma legislação similar à norte-americana Tier 3 ou à europeia Stage IIIA. A normativa determina os limites de emissão de gases poluentes por esse tipo de equipamento e limites de ruído externo (meio-ambiente), que foi estabelecida pela Resolução Conama N° 433/2011. Atualmente, estão em vigência as

fases L6 (veículos leves), P7 (veículos pesados), M4 (motociclos e similares) e MAR-I (máquinas agrícolas e rodoviárias) (BRASIL, 2017).

3.1. Veículos Pesados (Fase P)

A partir de 2012 entrou em vigor a fase “P7”, no qual além de reduzir o limite para emissão de NO_x, estabeleceu-se a obrigatoriedade de incorporação de dispositivos ou sistemas para autodiagnose. Por consequência houve uma melhoria expressiva relacionada à qualidade dos combustíveis, cujo teor de enxofre foi estabelecido no máximo 10 ppm. Novas tecnologias vêm sendo utilizadas para redução das emissões, destaca-se a recirculação dos gases de escape (EGR) associado ao filtro de partículas (DPF) e o catalizador de redução seletiva (SCR), que associado ao ARLA 32, um insumo a base de ureia, é capaz de reduzir o NO_x (CETESB, 2009).

Com a implantação destas exigências houveram mudanças satisfatórias, obtendo-se reduções de 80%, o que ocasionou melhorias na qualidade do ar das regiões metropolitanas, detentoras da grande parte de frota de ônibus e caminhões. O PROCONVE incentivou a criação e aplicação de novas tecnologias nas frotas para essa redução, consequentemente começaram a introduzir o uso do catalisador, injeção eletrônica de combustível e as constantes melhorias nos combustíveis automotivos.

3.2. Máquinas Agrícolas e Rodoviárias (MAR – I)

As máquinas rodoviárias vêm cumprindo as novas normas desde 2015 que tem como objetivo o estabelecimento de limites de emissões de motores de máquinas agrícolas e rodoviárias, porém desde janeiro de 2017, todas as máquinas agrícolas e rodoviárias novas com potência igual ou superior a 75 kW (101 cv) e até 560 kW (761 cv) estão tendo que cumprir as exigências da nova legislação MAR – I. A partir de 2019, as máquinas de potência igual ou superior a 19 kW (25 cv) deveram se adequar nas normas.

A nova legislação MAR-I define limites de emissões (Quadro 4) dos poluentes monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) de motores de máquinas agrícolas e de construção (rodoviárias) novas, como mostra a Quadro 4. Se comparada com motores não certificados ou não regulamentados, a redução da poluição de material particulado da fase MAR-I pode chegar a 85% e a de NO_x até 75% (ANFAVEA, 2016).

QUADRO 4. Limites máximos de emissões para motores de máquinas agrícolas e rodoviárias.

Potência – P (kW)	CO (g kWh ⁻¹)	HC + NO _x (g kWh ⁻¹)	MP (g kWh ⁻¹)
130 ≤ P ≤ 560	3,5	4,0	0,2
75 ≤ P ≤ 130	5,0	4,0	0,3
37 ≤ P ≤ 75	5,0	4,7	0,4
19 ≤ P ≤ 37	5,5	7,5	0,6

Fonte: ANFAVEA (2016).

4. TECNOLOGIAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES UTILIZANDO SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR ETANOL NOS MOTORES DIESEL

Neste tópico serão descritos vários tipos de tecnologias aplicadas a um motor diesel para redução de poluentes existentes, na questão de aspectos e viabilidade desta possível troca em termos energéticos.

4.1. Substituição total do óleo diesel por etanol

O etanol tem uma lubricidade e um número de cetano muito inferior ao diesel, e devido ao óleo diesel ter uma elevada temperatura de autoignição, esta substituição exige uso de alguns aditivos para aumentar a lubricidade e o número de cetano.

O número de cetano é uma das propriedades mais importante do combustível, ela está relacionada ao intervalo de tempo entre a injeção do combustível e sua ignição quando submetido as condições de temperatura e pressão que se estabelecem na câmara de combustão (PAUFERRO, 2012).

O óleo diesel tem um número de cetano entre 40 e 55, que é o intervalo utilizados como padrão em projetos das câmaras de combustão dos motores a diesel. O etanol tem um número de cetano entre 5 e 15, o que provoca atrasos significativos na ignição em motores a diesel e com o menor poder calorífico do etanol, de ordem 27 MJ kg⁻¹ comparado com diesel, de ordem 42 MJ kg⁻¹, isso exige uma compensação, podendo ser resolvido com o aumento da taxa de compressão do motor (PAUFERRO, 2012).

Observando as dificuldades da substituição total de diesel por etanol verifica-se que para um bom funcionamento, deve-se utilizar aditivos, com isso, acarreta um aumento no custo de operação do motor, além de ter que incorporar anticorrosivos que irá inibir a ação do etanol quando em contato com os componentes metálicos no interior do motor.

O uso exclusivo de etanol pode reduzir bruscamente materiais particulados em comparação ao óleo diesel, mas com a adição de aditivos no etanol, pode-se formar outros tipos de gases poluidores como produção de óxido de nitrogênio e de hidrocarbonetos carcinogênicos (PAUFERRO, 2012).

Segundo Pérez et al. (2006) o óleo diesel não é corrosivo, com isso, não apresenta o problema de ataque nos componentes, ao contrário, o etanol é conhecido como uma substância corrosiva, isso se deve a impurezas iônicas (principalmente ácido acético, íons de cloreto e sulfato), à polaridade da molécula de etanol e ao conteúdo de água, notou-se que álcool etílico ataca os componentes do motor e principalmente os componentes que contêm borracha. Esses autores concluíram que o álcool ético hidratado se apresenta como um interessante combustível alternativo ao óleo diesel, na queima direta. Sendo possível utilizar o mesmo atomizador de diesel para o álcool, com uma considerável melhora na atomização e por conseguinte na eficiência da combustão, tendo em vista que deve-se ter uma regulação na pressão de injeção de combustível. Com a queima de álcool etílico não se adiciona efetivamente dióxido de carbono para a atmosfera, dado que a cana, matéria-prima do etanol absorve as moléculas de CO₂ do ambiente, também uma redução de fuligem, material particulado em geral, CO e SO₂.

Observando que para realizar uma substituição satisfatória de diesel por etanol deve-se cuidar o sistema de lubrificação e de injeção do combustível, devido à viscosidade e lubrificidade do etanol ter propriedades diferentes. Deve-se tomar medidas de segurança para evitar perdas por evaporação e risco de incêndios e contra a ação corrosiva do etanol deve-se adicionar aditivos inibidores ou pela substituição de materiais por outros mais nobres que não sejam atacados pelo álcool (PEREZ et al., 2006).

Em 2016 houve a publicação da patente PI 1104363-6, que demonstra a formulação de um combustível a partir de uma mistura de etanol e aditivos especiais para o uso em motores a óleo diesel, onde é obtida a partir de etanol e aditivos como Dinitrato de Trietileno Glicol (DNTEG) como reforçador de cetano e Trietileno Glicol (TTEG) como um agente lubrificante, podendo ser substituído por óleo de mamona degomada sem micelas e sem açúcar para evitar entupimento dos bicos de injeção. Com a correção do número de cetano, apresenta facilidade de partida a frio do motor, permite um aquecimento rápido, nível baixo de ruído, minimiza a emissão de poluentes como hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado. Uma opção de formulação proposta seria 94,5% de Etanol, 4,5% de DNTEG e 1% de TTEG, outra opção seria a troca de DNTEG por Óleo de mamona, ambas contêm DNTEG como um aditivo reforçador de cetanos e diminuidor de atraso da ignição (RIBAS, 2016).

4.1.1. Ethanol Bus

O Ethanol Bus é um ônibus movido a etanol criado na União Europeia e coordenado pela cidade de Estocolmo na Suécia, a criação, quando comparada aos ônibus a diesel, permite a redução de 70 % de emissões de dióxido de carbono. A cidade de Estocolmo lidera como uma das maiores usuárias mundiais de ônibus movidos a etanol e com objetivo de 100% da frota de ônibus movido a etanol até 2025. Os ônibus estão sendo produzidos pela montadora Scania, no qual o presidente da empresa afirma confiabilidade do ônibus no que se diz a viabilidade, eficiência e vantagens ambientais (UNICA, 2011).

Devido as diferenças de combustíveis, a Scania ajustou a taxa de compressão de 18:1 para 28:1, adicionou maiores injetores de combustíveis e alterou o tempo de injeção para um maior rendimento (GREENCARCONGRESS, 2007). O ônibus utiliza o ED95, onde o “D” indica que o etanol é destinado a ser usado em motores diesel, contem 95% de etanol e 5% de aditivos para melhorar a ignição, tornando os motores diesel modificados tão eficientes como os motores a diesel convencionais (ELTIS, 2014).

4.1.2. Ônibus Verde

O ônibus verde ou também chamado de “Green Bus” (Figura 2), ainda em testes na Índia, Suécia e Brasil como a proposta de um transporte público inovador, com objetivo de não utilizar combustível fóssil, usando apenas o etanol como combustível sustentável em um motor diesel. Esses ônibus são veículos de emissões baixas, reduzindo até 90% dos gases poluentes quando comparado com um ônibus diesel convencional.

No Brasil esses modelos estão em teste na cidade de São Paulo desde o ano de 2009, sendo administrada pelo Centro Brasileiro de Referência em Biomassa (CENBIO), com o apoio da Associação Brasileira da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), com perspectiva de implantação de 200 ônibus nos próximos anos (UNICA, 2010).

O ônibus movido a etanol pode promover reduções de 90% de material particulado, 82% de HC, 75% de CO e 60% de NOx, vão deixar de ser emitidas 8.412 toneladas de SOx, pois o etanol tem emissão nula, mas em contrapartida apresenta um custo superior, além de manutenção e limpeza frequentes comparado ao diesel convencional (LASCALA, 2011).



Fonte: RUSHLANE (2015).

FIGURA 2. Ônibus verde.

A Scania desenvolve um projeto na Índia desde 2007, a mesma tem sido pioneira no setor de transporte sustentável, a montadora começou com os testes em ônibus a etanol na Suécia há mais de vinte anos atrás (TRUCKS CARDEKHO, 2015). O ônibus verde tem um consumo de 1,33 a 1,56 km L⁻¹, logo, observa-se que é menor do que a metade do consumo de um motor diesel e o custo de compra está de três a cinco vezes maior de um ônibus convencional.

Segundo MOTTA (2011), em termos de resultados, as curvas de torque e potência obtidas nos testes suecos são bastante similares àquelas dos motores diesel convencionais, sem grandes alterações na relação destes parâmetros com a rotação do motor. Os resultados parciais dos testes de campo realizados no Brasil também foram satisfatórios, com boa avaliação no que se refere à redução de emissões.

Um empecilho encontrado na adaptação do motor a etanol aditivado no Brasil diz respeito a uma alteração técnica de tropicalização: em dias mais quentes, com temperatura ambiente acima dos 26°C, o motor em teste apresentava superaquecimento em baixas velocidades, com condições atípicas de temperatura e pressão na linha de combustível. Após uma análise, constatou-se que estas alterações decorriam da ação de uma microcâmara de pré-aquecimento anexa ao tanque de combustível, que foi extraída, solucionando o problema (MOTTA, 2011).

A alternativa de uso de etanol aditivado com polietilenoglicol tem resultados de desempenho satisfatórios, porém ainda enfrenta grandes dificuldades para se viabilizar no

mercado, já que a fabricação no Brasil são os altos custos para a importação fazem com o combustível etanol-PEG se comporte como uma opção cara. No Quadro 5 pode-se observar uma comparação de alguns dados obtidos do uso de um motor diesel de mesma potência utilizando dois combustíveis, onde se verifica que o custo para uso do etanol foi realmente o dobro do diesel.

QUADRO 5. Diferenças em manutenções preventivas de dois motores de mesma potência que utilizam combustíveis diferentes.

Motor SCANIA	Troca óleo lubrificante (km)	Troca filtro combustível (km)	Reparo Unidade de Injeção (km)	Troca filtro ar (km)	Custo previsto em (R\$)
DL 09E02 (etanol)	10.000 (35 litros)	20.000	20.000	40.000	16.885,00
DC (diesel)	15.000	30.000	60.000	120.000	8.349,22

Fonte. SCANIA (2011).

4.1.3. Scania P270

A Clariant em parceria com a Scania, empresa de produtos químicos, adquire caminhões Scania P270 4x2, movidos totalmente a etanol em um motor ciclo diesel (Figura 3), nos quais foram os primeiros caminhões a serem comercializados na América Latina. Segundo a SCANIA, os “Eco trucks”, como são chamados, houve uma redução de aproximadamente 90% nas emissões de CO₂ em comparação aos motores a diesel. O caminhão a etanol é uma solução para as empresas comprometidas em minimizar os impactos ambientais de suas operações de transporte. Segundo Emilio Fontanello, Engenheiro de pré vendas da Scania no Brasil, “P270 é uma opção 100% viável, com a mesma performance de um caminhão diesel ou até um pouco melhor, sem odor do diesel e atendendo as normas P7, reduzindo emissões e ganhando um ambiente mais limpo” (PÉ NA ESTRADA, 2016).

O Scania P270 atende os requisitos da fase P7, estipulada pelo PROCONVE, sendo assim não tem necessidade de usar a tecnologia de redução catalítica seletiva por meio do Arla 32.



Fonte: NEW ROOM (2014).

FIGURA 3. Scania P270 movido exclusivamente por etanol em motor ciclo diesel.

O Eco truck necessita de uma mistura de 95% de álcool hidratado com 5% de aditivo Master Batch ED 95, para controlar a combustão, fabricado pela Clariant no Brasil. Para este modelo, o custo varia entre 10 a 15% mais caro que um modelo normal e com um consumo de 40% superior ao motor a diesel (NOTÍCIAS AUTOMOTIVAS, 2012).

4.2. Substituição parcial do óleo diesel por mistura com etanol

O óleo diesel por ser quimicamente composto por moléculas apolares e o etanol com moléculas polares, não são miscíveis acima de 3% no óleo diesel, pelo que requer a adição de um aditivo para homogeneização dessas misturas, chamados cossolventes, que basicamente tem afinidades com as moléculas apolares e polares e permitiria a mistura na proporção acima de 3%. Devido a altas temperaturas de um motor diesel, a mistura óleo diesel e etanol ficam instável, o que acaba sendo um grande problema nesse tipo de substituição. Na mistura também é notório que com a mudança no número de cetano e viscosidade ocorreu uma mudança na injeção de combustível promovendo atraso na combustão (PAUFERRO, 2012).

O Programa Álcool & Diesel desenvolveu-se em duas direções: um projeto coordenado pela União da Agroindústria Açucareira e outro, pela Associação dos Produtores de Álcool e Açúcar do Paraná (ALCOPAR). Os dois se diferem por questões técnicas, a mistura proposta pela UNICA continha de 3 a 10% de álcool hidratado (AEHC) e era obtida por emulsão, enquanto a da ALCOPAR continha de 8 a 11,2% de álcool anidro (AEAC), obtida por solução (LEÃO, 2002).

Posteriormente, os estudos se ampliaram, abandonando o uso do aditivo Dalco e investigando-se vários tipos de emulsões com o uso do álcool anidro e de outros aditivos estabilizantes: AEP-102, BIO 7 e Promad 1. Também foram desenvolvidos testes independentes em algumas usinas com misturas, contendo 3% de álcool anidro (AEAC) na faixa de 3 a 10% em volume, que não exigem aditivos estabilizantes (LEÃO, 2002).

Segundo Koike et al. (2003), observou que a mistura de 7% de álcool no diesel, obteve-se diferença significativa de consumo e de rendimento energético. A mistura resultante possui poder calorífico cerca de 3% inferior ao do óleo diesel puro. Levando-se em consideração essa perda de poder calorífico, quando comparada ao diesel puro, o aumento de consumo e a perda de rendimento energético das frotas estudadas foram proporcionais às perdas de poder calorífico do combustível resultante e ficaram dentro da margem de erro. Isso indica que não houve perda de rendimento do motor em razão da diminuição do número de cetano da mistura (KOIKE et al., 2003).

Há uma diminuição na emissão de particulados quando se substitui parcialmente o diesel por álcool. Na mistura de 7% a redução foi considerável, enquanto na de 3% houve redução, porém, a amplitude dos resultados não foi satisfatória. A mistura é vantajosa quando o preço do etanol anidro estiver abaixo de 60% do preço do diesel (relação direta de poderes caloríficos entre o diesel e o álcool anidro) para a mistura de 7%. Em razão da complexidade na preparação e dificuldade de compra do álcool anidro, a mistura acaba sendo viável apenas para frotas cativas (KOIKE et al., 2003).

Segundo Feitosa (2003), este sistema é bastante promissor, devido a alcançar reduções de 83% de NOx, 81% de materiais particulados, 18% na quantidade de CO₂, um aumento de 25,6% no rendimento térmico para as maiores cargas e maiores taxas de substituição. Notou-se como citado anteriormente, uma redução expressiva na temperatura, até 74oC no ar comprimido e aquecido pelo turbocompressor, no funcionamento com óleo diesel o motor se comportou normalmente, quando alimentado com etanol o motor obteve respostas rápidas devido a vaporização no coletor de admissão.

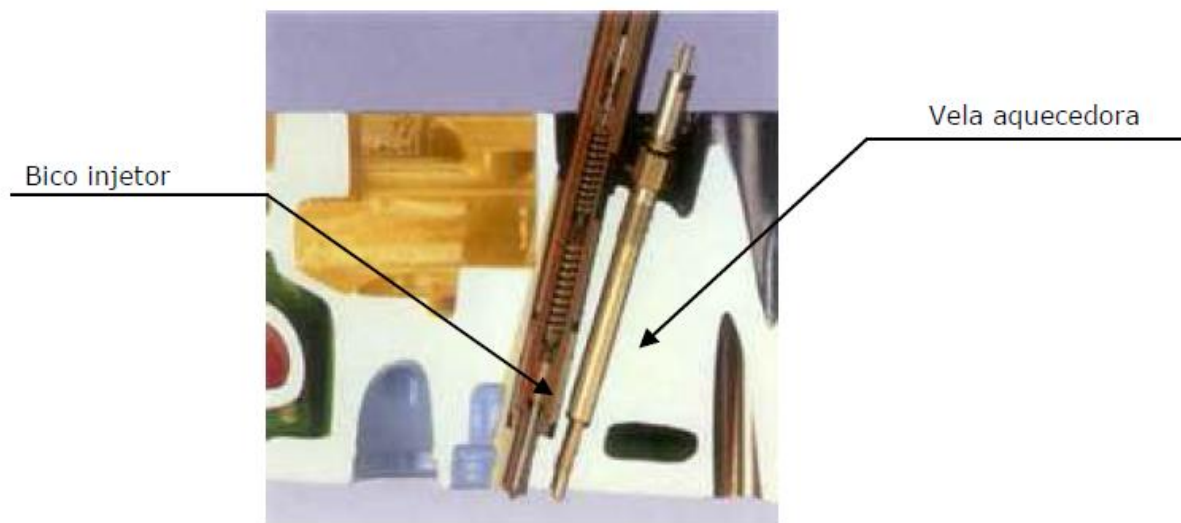
Com essa tecnologia, obteve reduções de até 55% na massa de diesel consumida e possibilitando a sobrealimentação por etanol, aumentando em potências de até 30% superiores a condição original, sem o aumento de fumaça preta e ainda com as vantagens de reduções de gases poluentes e possibilitando o aumento do teor de água no etanol, assim reduzindo os custos com etanol. Feitosa notou que em contrapartida, o sistema precisa de dois sistemas de combustíveis, houve um aumento de emissões de HC e CO, característico de uma combustão intermediária entre o ciclo Otto e o ciclo Diesel, podendo ser estudado um sistema para

controlar essas emissões e um aumento no consumo específico do motor, em média 8,9% maior (FEITOSA, 2003).

ESTRADA et al. (2016) avaliou o desempenho de um motor ciclo Diesel de um trator agrícola, utilizando óleo Diesel S500 (B5) e sua mistura com 3% (ED3), 6% (ED6), 9% (ED9), 12% (ED12) e 15% (ED15) de etanol hidratado e avaliou-se potência, torque, consumo específico de combustível, reserva de torque, reserva de rotação e índice de elasticidade do motor. Os resultados obtidos indicaram que, utilizando B5 e ED3, os valores de torque e potência do motor não diferiram, além disso, com o ED3, o consumo de combustível foi 5,92% menor, quando utiliza-se ED12, a potência, em relação ao B5, teve uma redução de 2,97%, sem diferença para o consumo de combustível. Já com o ED15, a potência diminuiu 6,30% e o consumo aumentou 3,77%, em comparação com o B5. Os valores de reserva de torque foram incrementados conforme aumentou o conteúdo de etanol, reduzindo a reserva de rotação e o índice de elasticidade do motor. A mistura de etanol no óleo Diesel B5 pode ser utilizada como combustível alternativo em motores agrícolas, sem apresentar alterações significativas no seu desempenho, desde que seja utilizado até 12% de etanol (ESTRADA et al., 2016)

4.3. Substituição total de óleo diesel com uso de velas aquecedoras

O uso das velas de aquecimento atuando nas câmaras de combustão (Figura 4), promove uma redução de formação dos gases poluentes, economia de combustível e conseqüentemente redução de fumaça branca. As velas aquecedoras são conhecidas como *glow plugs*, que elevam a temperatura do cilindro até 850°C, eliminando os efeitos do menor número de cetano do etanol visto anteriormente. Em funcionamento, entram na temperatura ideal de operação em poucos segundos, são controladas por módulos que fazem a leitura de operação do motor e processam os dados enviando comandos que acionam ou interrompem o sinal desse sistema (PAUFERRO, 2012).



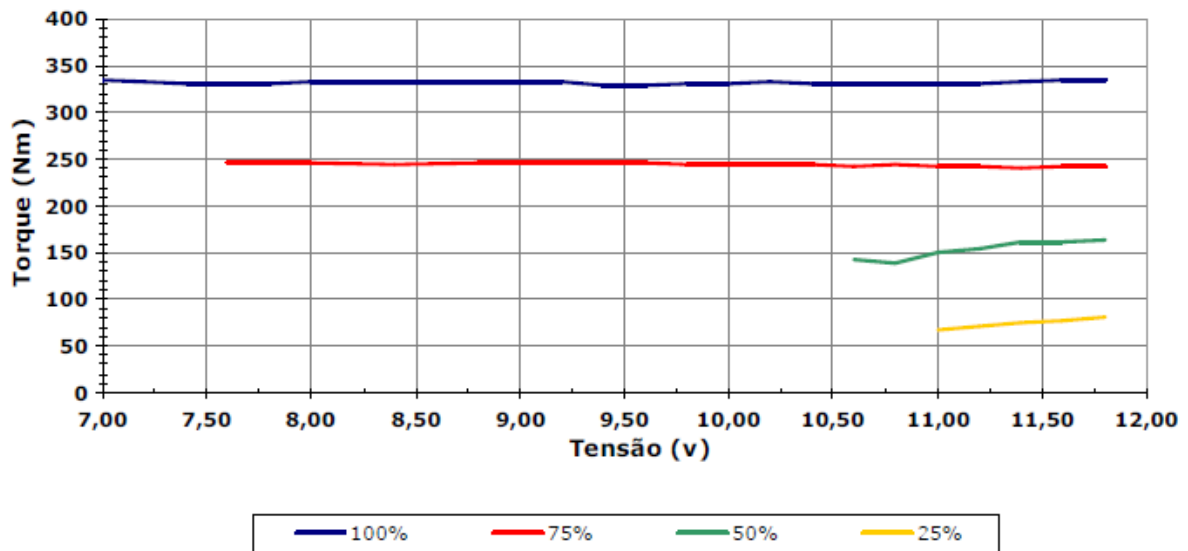
Fonte: BRAMBILA et al. (2006).

FIGURA 4. Cabeçote de um motor MWM Sprint.

Em termos de emissões, os resultados ficam próximos do caso de substituição total de óleo diesel por etanol, reduzindo até 90% das emissões de gases. A vela aquecedora deve ser mantida aquecida em torno de 800 - 900°C para que o motor funcione corretamente utilizando álcool como combustível e com isso há uma necessidade de uma maior potência elétrica fornecida para a vela. Para um melhor controle da temperatura das velas, necessita de uma placa de controle, que tem a possibilidade de controlar a temperatura da vela somente em função da condição de carga e rotação do motor, podendo assim ser automatizado (BRAMBILA et al., 2006).

Segundo Brambila et al. (2006) por existir uma diferença no poder calorífico dos combustíveis, etanol ser relativamente mais baixo, conclui que para obtenção da mesma quantidade de calor deve se aumentar a vazão da bomba de combustível em 55% e a vazão da bomba injetora deve ser 63% superior a do óleo diesel.

Como demonstra os dados apresentado na Figura 5, na condição de 100% de carga, o motor manteve o mesmo desempenho com a vela totalmente desligada, pois o motor já se encontrava totalmente quente e estabilizado, este fato não ocorre quando motor está frio. Com 75% de carga o motor apresentou estável até 7,8 Volts quando um cilindro começou a ter problemas na queima do álcool. Considerou-se, portanto, sendo este o limite para o seu bom funcionamento. Enquanto que para as condições de 50 e 25% de carga o motor apresentou um aumento linear de torque a partir de 10,6 e 11,0 V, respectivamente. Com isso apresentou falhas na queima do álcool para pequenas cargas (BRAMBILA, 2006).



Fonte: BRAMBILA et al. (2006).

FIGURA 5. Torque em função da tensão da vela (1800 rpm).

O torque do motor em função da tensão de alimentação da vela mostrou que pode variar a tensão dependendo da condição do motor. Uma menor tensão de alimentação significa uma menor potência consumida, dessa maneira um mapeamento completo dessa variável facilitaria a criação de um circuito lógico programável capaz de controlar o funcionamento das velas aquecedoras com um consumo mínimo possível de energia (BRAMBILA et al., 2006).

4.4. Substituição parcial do óleo diesel por injeção de etanol no coletor de admissão

A injeção de etanol no coletor de admissão consiste em misturar etanol com ar antes de iniciar o processo de compressão no cilindro, preparando para a queima dentro do cilindro complementando a massa de óleo diesel injetado no final da compressão. Gerpen e Meter investigaram, no início da década de 90, os efeitos da fumigação de álcool nas emissões de gases de motores diesel (PAUFERRO, 2012).

Gerpen e Meter observaram que com o uso de fumigação houve reduções de 12,7 e 28,3% para emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) e de material particulado (MP), respectivamente. As reduções dos mesmos ocorreram devido a injeção 30% de etanol, no qual ocorreu uma queda na temperatura da câmara de combustão e devido ao menor tempo com que a combustão se processou houve uma redução na produção de MP (GERPEN e METER, 1990 apud PAUFERRO, 2012).

O tecnologia demonstrada apresenta desenvolvimento tecnológico testado e patenteado (PI 0003419-3), em motores do ciclo diesel, capaz de diminuir sensivelmente a emissão de gases de emissões (CO₂, NO_x, SO_x, HC e materiais particulados), demonstra viabilidade econômica às indústrias e ao país, com possibilidade de elevado ganho em gastos com combustível e em créditos de carbono e expressa viabilidade ambiental, com reduções consideráveis em emissões de poluentes, o que coloca o motor testado, que atende originalmente às normas e sem o uso de qualquer catalisador ou tratamento de gases de escape (ÁVILA et al., 2000).

O processo trata-se da vaporização do etanol hidratado pelo processo conhecido como saturação adiabática, que consiste na troca de energia interna entre um líquido (etanol) e um gás (ar de admissão), nessa transformação o etanol sofre uma mudança de fase (vaporização) e conseqüentemente, retira calor do ar e suas redondezas, o que acaba implicando na redução da temperatura do ar admitido, assim, aumentando a densidade da mistura e a eficiência volumétrica do motor (ÁVILA et al., 2000).

Com esse sistema, não há necessidade do “intercooler” após o turbo-compressor, que serve para reduzir a temperatura dos gases comprimidos para um valor próximo ao do ar ambiente, que leva ao encarecimento do produto final e com essa tecnologia devido a redução da temperatura do ar no coletor de admissão inerente ao processo de vaporização do etanol hidratado injetado, elimina-se o intercooler, com isso, a perda de carga provocada pelo dispositivo, aumentando ganho de eficiência já que normalmente é admitido ar com temperaturas próximas de 40°C e com o sistema, possibilita uma entrada de ar com temperaturas na faixa entre 0 e 20°C e redução de óxidos de nitrogênio. Devido a esta vaporização, possibilita a utilização de etanol com maior teor de água do que o comumente comercializado, o que implica no uso de álcool hidratado de menor custo (ÁVILA et al., 2000).

O sistema proposto utiliza uma válvula eletrônica de injeção, localizada no coletor de admissão, adicionada a um módulo de injeção eletrônica (ECU) no qual regula a necessidade de etanol vaporizado no coletor dependendo da necessidade, gerando economia de óleo diesel e evitando poluição excessiva (ÁVILA et al., 2000).

4.4.1. Iveco Trakker – Bi Fuel Ethanol-Diesel

O Iveco Trakker Bi-Fuel Ethanol-Diesel (Figura 6) foi desenvolvido inteiramente no Brasil e permite a substituição do diesel pelo etanol em taxas variáveis de acordo com a utilização do caminhão, podendo chegar a 85% em certos regimes. A taxa média de substituição

do diesel no protótipo chega a 40%, o que garante uma importante contribuição ambiental uma vez que o etanol é um combustível renovável (IVECO, 2011a).

O protótipo do Iveco Trakker Bi-Fuel Ethanol-Diesel é um cavalo mecânico com tração 6x4 para até 63 toneladas de peso bruto total combinado. O modelo utiliza um motor Iveco-FPT de seis cilindros e nove litros, sistema de injeção common rail e 360 cv de potência, de ciclo diesel e possui dois tanques de combustível, um para etanol, outro para o diesel.

O etanol hidratado é injetado no ciclo de admissão e após a compressão, é detonado com a injeção do próprio óleo diesel. O sistema não exige aditivo ou antidetonante como de outras tecnologias apresentadas, e a quantidade de cada combustível são dosadas pela central eletrônica do motor e variam de acordo com as condições de pressão, temperatura e carga.

O sistema é projetado para o funcionamento Bi-Fuel Ethanol-Diesel, podendo operar com o sistema 100% diesel, é um protótipo desenvolvido no Brasil, a partir de uma demanda da Única (União da Indústria da Cana-de-Açúcar). Com uma tecnologia embarcada que permite redução tanto no consumo de óleo diesel com injeção parcial de etanol quanto redução de gases poluentes (IVECO, 2011b).



Fonte: IVECO (2011).

FIGURA 6. Iveco Trakker Bi-Fuel Ethanol-Diesel.

4.5. Substituição parcial do óleo diesel por injeção de etanol internamente ao cilindro do motor no início do tempo de compressão

Esta alternativa tem intuito de manter a vantagem de injeção a baixas pressões, mas buscando uma eficiência maior. Desta forma, a mistura é formada durante o curso ascendente do pistão, concentrada no interior da câmara de combustão, a qual sua temperatura de autoignição alcançada como uma consequência da combustão do óleo diesel injetado previamente (PAUFERRO, 2012).

A porcentagem de óleo diesel substituído por etanol ainda é limitada pela possibilidade de ocorrência de pré-ignição da carga de ar-etanol comprimida e pela garantia de obtenção de substituição eficiente (PAUFERRO, 2012).

5. TECNOLOGIAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES NOS MOTORES DIESEL

A FENATRAN é um dos cinco maiores eventos do mundo na área de produtos e serviços destinados a transportadores, no qual são apresentadas as tecnologias presentes nos veículos para o cumprimento da fase P7 do PROCONVE, algumas das tecnologias aplicadas atualmente para o controle e redução de NOx na combustão dos motores diesel são o Controle Eletrônico de Injeção, a tecnologia de Recirculação do Gás de Escapamento (EGR) e Redução Catalítica Seletiva (SCR).

5.1. Controle Eletrônico de Injeção ou Controle Eletrônico de Diesel (EDC)

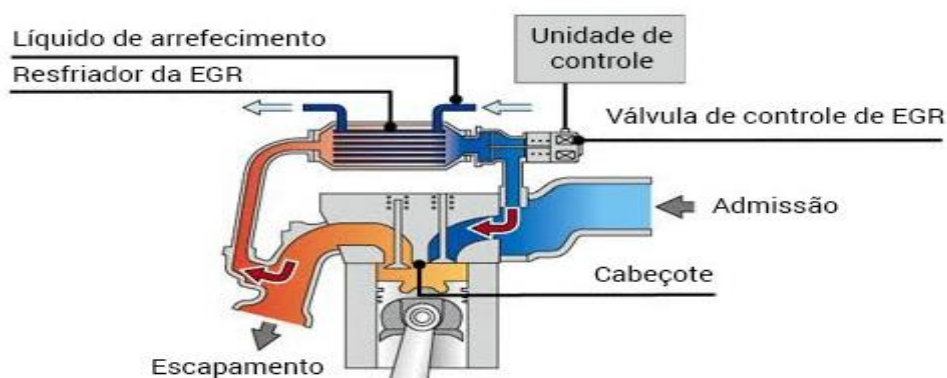
O Controle Eletrônico de Diesel (EDC) regula as funções do sistema de injeção de tal forma que o motor forneça o torque exigido pelos parâmetros da injeção com o motor e o modo de condução, assim podendo ter um sistema eletronicamente controlado, utilizando um consumo mínimo com baixas emissões de gases a baixos ruídos (BOSCH, 2017).

Common Rail, como é chamado, é um sistema de injeção eletrônica com tecnologia similar a injeção eletrônica de um motor ciclo otto, a bomba gera a alta pressão que está disponível para todos os injetores através de um tubo distribuidor comum, essa pressão é controlada independente da rotação do motor, A pressão do combustível desde o início e fim da injeção são calculados com precisão pela unidade de comando a partir das informações obtidas dos diversos sensores instalados no motor, controlado pelo acionamento de sua válvula

magnética, cada injetor fornece com precisão o combustível ao respectivo cilindro do motor proporcionando um alto torque em baixas rotações, menor consumo de combustível, baixas emissões de poluentes e deixando o motor mais silencioso (BOSCH, 2017)

5.2. Recirculação do Gás de Escapamento (EGR)

Tecnologia pela qual o gás de escapamento retorna à câmara de combustão do motor, cerca de até 25% dos gases, reduzindo a temperatura da combustão e a formação de óxidos de nitrogênio (NOx) pelo processo da condução de volta a câmara de combustão, passando antes pelo sistema de arrefecimento e misturando com gases de admissão (Figura 7). Adicionalmente, é necessário um sistema de turboalimentação mais complexo (ANFAVEA, 2016).



Fonte: BEST CARS (2016).

FIGURA 7. Motor com Recirculação do Gás de Escapamento.

5.3. Redução Catalítica Seletiva

Muitos veículos pesados novos já vem utilizando essa tecnologia, há um sensor na saída dos gases de escape que verifica a quantidade de NOx que está sendo emitida pelo motor, uma central eletrônica recebe as informações do sensor e aciona válvulas que liberam doses de um líquido reagente (Arla 32), o qual é pulverizado no gás de escapamento (Figura 8), ocorrendo uma reação química no catalisador que praticamente neutraliza a geração de NOx, reduzindo a emissão de NOx em até 80% (OMECANICO, 2015).

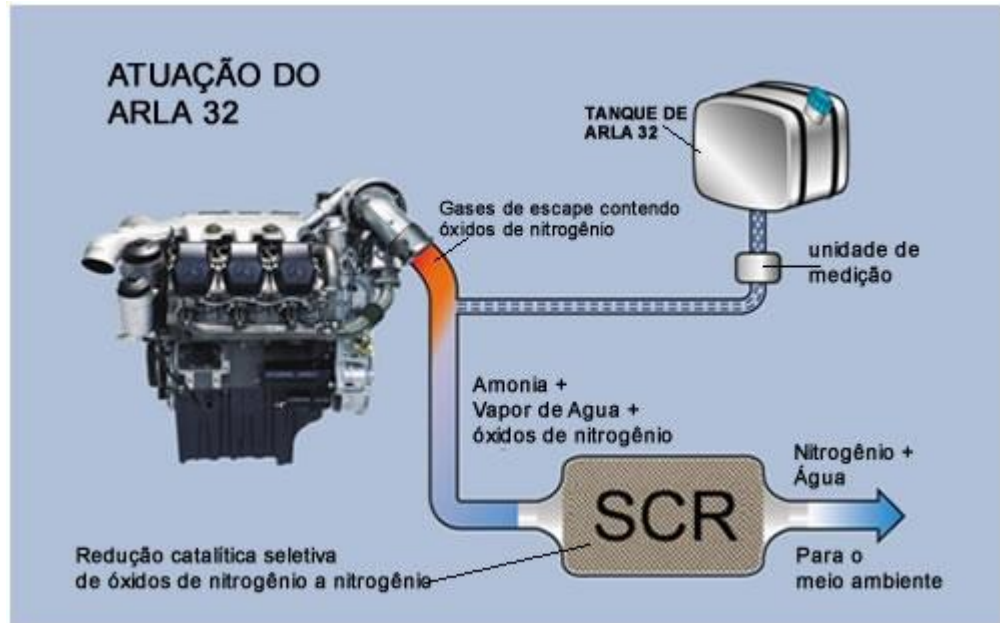
Nos casos da utilização do SCR, pode haver um mecanismo de avaliação conhecido como OBD (On-Board Diagnose), que identifica a presença do Arla 32 e também registra as falhas causadas pelo não uso do reagente. O sistema OBD também poderá reduzir a potência do motor no caso de falta de Arla 32, além de alertar o operador por meio de luzes indicadoras no painel, quanto ao material particulado (MP), esse poluente é reduzido no próprio motor durante a combustão (ANFAVEA, 2016).

Nos sistemas baseados em catalisadores SCR, os óxidos de nitrogênio gerados pelo motor são reduzidos através da reação com amônia, NH_3 , no interior do catalisador SCR. A amônia é obtida pela injeção de uma solução aquosa de 32,5% de ureia (conhecida comercialmente como Adblue) na entrada do catalisador SCR. A água da solução evapora devido as altas temperaturas do gás de escape e em sequência, a ureia passa por estágios de decomposição térmica e hidrólise, gerando NH_3 e CO_2 ao final de todo o processo. Somente 50% da amônia fica disponível na entrada do catalisador, pois a hidrólise é uma reação que precisa ser catalisada, só finalizando por completo no interior do SCR. A solução aquosa de ureia não é tóxica e sua obtenção é simples, dada a larga utilização da ureia em diversos setores da atividade humana (ex.: produção de cosméticos e de fertilizantes agrícolas) (BALDISSERA et al., 2012)

Os inventores da patente “Catalisador para redução de gases poluentes contendo nitrogênio do gás de escape de motores diesel” (PI 0712461-9 A2), apresentam um sistema de purificação dos gases de escape para a redução de óxidos nitrosos através da redução catalítica seletiva por meio de amoníaco e emissões não desejadas de amoníaco não usados, apresentam um catalisador que bloqueia o amoníaco, oxidando-o para nitrogênio e água. Trabalhando juntamente com o SCR para uma melhor redução de poluentes, usa-se duas camadas sobrepostas, a camada inferior contendo pelo menos 20 mililitros de amoníaco por grama de material de catalisador, este mostra um escape de amoníaco diminuindo com boas conversões SOR na faixa de temperatura (MUSSMANN et al., 2012).

Segundo Apezatto (2011), é possível reduzir emissões de aldeídos e materiais particulados mais de 70% devido a um dispositivo patenteado pelo mesmo, “dispositivo filtrante para redução das emissões de aldeídos e particulados provenientes da combustão dos motores diesel” (PI 1000489-0 A2), o dispositivo contém três estágios sendo eles, o difusor, onde ocorre o amortecimento das ondas de choque advindas da exaustão do motor, fazendo com que o gás passe por palhetas, onde aglutina parte da matéria particulada das emissões no cinturão filtrante. No segundo estágio formado por cartuchos dos elementos filtrantes, onde ocorre a devida filtração das partículas medianas e onde carrega-se eletricamente as partículas

finas, ao escorrem sobre o tecido de aço inox e a chapa de alumínio, aglutinando na periferia dessas partículas os hidrocarbonetos não queimados. No terceiro estágio é composto por um perfil que encaminha os gases para a saída dos mesmos na atmosfera (APEZZATTO, 2011).



Fonte: MOB CEARA (2013)

FIGURA 8. Funcionamento da redução catalítica seletiva.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. No Brasil é possível verificar a escassez do número de pesquisas com a temática do uso de tecnologias de injeção direta de etanol no motor diesel, ou de outros métodos criando motores sustentáveis; no entanto o tema é emergente e vem ganhando espaço devido as práticas de sustentabilidade e ao desenvolvimento econômico.
2. Com passar dos anos, sabe-se que os recursos naturais irão se esgotar, no Brasil os seus governantes demonstram pouco pensamento para fomentar a criação e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para automotores, necessárias para garantir qualidade de vida para as próximas gerações.
3. Dentre os estudos encontrados nota-se importantes tecnologias de veículos pesados utilizando motores mais sustentáveis, porém não rentável devido alto custo de produção e consequentemente de revenda, evidenciando a importância de estudos e desenvolvimento de tecnologias com menores custos, socialmente justas e economicamente viáveis.
4. O uso de tecnologias do tipo substituição total de óleo diesel por etanol apresenta pouca viabilidade, devido a necessidade de utilizar adições de aditivos e anticorrosivos, tornando assim os custos mais elevados e as manutenções mais frequentes quando comparado a motores diesel convencionais.
5. O uso do motor com tecnologia de substituição parcial do óleo diesel por injeção de etanol vem se apresentando como uma boa opção, pois permite reduções nos gases poluentes e materiais particulados, e, uma economia significativa de óleo diesel, não necessitando do uso de aditivos e tendo como uma opção um sistema totalmente reversível.
6. Por fim, a criação de uma alternativa para reduzir os custos com a montagem de sistemas eletrônicos, seria adaptar um injetor de etanol nos cilindros, o que torna o sistema de fácil manejo e com custos reduzidos, buscando eficiência equivalente ao sistema de substituição parcial do óleo diesel por injeção de etanol demonstrado pelo Iveco. Com isso, podendo facilmente adaptar um motor fabricado sem essa tecnologia, reduzindo gases poluentes, porém na literatura não há informações suficiente, sendo necessário testes e criação de novos protótipos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMAQ - Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos. **Máquinas Agrícolas em aceleração**, 2017. Disponível em: <<http://zwww.camaras.org.br/site.aspx/Detalhe-Noticias-SRMG?codNoticia=ww/4d/FbnBc=>>>. Acesso em 10 de Abr. 2017.

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Guia MAR-I: Tudo o que você deve saber**. 2016. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/docs/cartilha_mar-1.pdf>. Acesso em 23 de Jan. 2017.

APEZZATTO, C.H.R. **Dispositivo filtrante para redução das emissões de aldeídos e particulados provenientes da combustão dos motores diesel**. BR PI 1000489-0 A2, 18 de Out. 2011. 1p.

ÁVILA, M.T., FEITOSA, M.V., TRINHAIN, A.E., HILDEBRAND JUNIOR, L. **Sistema para operação ecológica de motores do ciclo diesel utilizando o processo de injeção adiabática de etanol hidratado saturado no coletor de admissão**. BR PI 0003419-3 A2. 26 de Jul. 2000. 14p.

ÁVILA, M.T., FEITOSA, M.V., ANDREOLI, C. **Motor de ciclo diesel com injeção de etanol no coletor de admissão**, 2000. Disponível em: <<http://www.cpamn.embrapa.br/agrobioenergia/trabalhos/033.PDF>>. Acesso em: 15 de Nov. 2016.

BALDISSERA, F.L.; CASTELAN, E.B.; MORENO, U.F.; DE PIERI, E.R. Aplicação de backstepping para controle de óxidos de nitrogênio em veículos diesel. **Revista Controle & Automação**, v.23, no.3, p.374-385, 2012.

BEST CARS. **EGR: Recirculação de gases melhora mesmo o consumo?**, 2016. Disponível em: <<http://bestcars.uol.com.br/bc/mais/cons-tecnico/egr-recirculacao-de-gases-melhora-mesmo-o-consumo/>>. Acesso em 25 de Mar. 2017.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente. **Motores de máquinas agrícolas serão menos poluentes a partir de 2017**, 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2017/01/motores-de-maquinas-agricolas-serao-menos-poluentes-a-partir-de-2017>>. Acesso em 16 de Jan. 2017.

BRAMBILA, J.A., KRIEGER FILHO, G.C., TRIELLI, M.A. **Estudo experimental e simulação zero-dimensional de desempenho em motor de combustão interna operando com óleo diesel e etanol**, Braz. Soc. of Mechanical Sciences and Engineering – ABCM, Curitiba, 2006.

BRAMBILA, J.A. **Estudo experimental e simulação termodinâmica de desempenho em um motor de combustão interna operando com óleo diesel e etanol**. 2006. 114f. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BOSCH. **Sistema de propulsão: Diesel**, 2017. Disponível em: <http://www.bosch-mobilitysolutions.com.br/pt_br/br/powertrain_2/powertrain_systems_for_passenger_car_3/diesel_5/diesel_3.html#>. Acesso em 15 de Jan. 2017.

CETESB. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo**, 2005. Companhia de Tecnologia Ambiental, série relatórios, Secretaria do Meio Ambiente.

CETESB. **PROCONVE: Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores**, 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf>. Acesso em 20 de Nov. 2016.

CAMPOS, T.A.R. **Análise da capacidade de produção de energia de sistemas de cogeração por meio da biomassa e sua representação na matriz energética brasileira**. 2010. 54f. Monografia (Conclusão de Curso) – Engenharia de Produção, Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2010. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/jspui/bitstream/123456789/40/1/ThallesAugusto-EP.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indústria automobilística e sustentabilidade**, 2012. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2013/09/23/4970/20131002175420378115i.pdf>. Acesso em: 18 de Nov. 2016.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Oficina nacional: transporte e mudança climática**. Brasília, 2009.

CARVALHO, C.H.R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2011.

DEPEC – DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E ESTUDOS ECONÔMICOS. **Açúcar e etanol**, 2017. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_acucar_etanol.pdf>. Acesso em 11 de Abr. 2017.

DRUMM, F.C.; GERHARDT, A.E.; FERNANDES, G.D.A.; SUCOLOTTI, C.P.; CUNHA, M.S.; KEMERICH, P.D. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology**, v.18, n.1, p.66-78, 2014.

ESTRADA, J.S.; SCHLOSSER, J.F.; FARIAS, M.S.D.; RODRIGUES, F.A.; MARTINI, A.T.; SANTOS, G.O.D. Performance of an agricultural engine using blends of diesel and ethanol. **Ciência Rural**, v. 46, n. 7, p. 1200-1205, 2016.

ELTIS. **More than 400 ethanol buses in Stockholm (Sweden), 2014**. Disponível em: <<http://www.eltis.org/discover/case-studies/more-400-ethanol-buses-stockholm-sweden>>. Acesso em 10 de Abr. 2017.

FEITOSA, M.V. **Desenvolvimento do motor de ignição por compressão alimentado por injeção direta de óleo diesel e por etanol pós-vaporizado no coletor de admissão**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FOGAÇA, J.R.V. **Combustíveis fósseis**. 2016. Disponível em <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/combustiveis-fosseis.htm>>. Acesso em 20 de Dez. 2016.

GREENCARCONGRESS. **São Paulo Puts Ethanol Bus into Service in BEST Project: E25 Prius Hybrids Under Test**, 2007. Disponível em: <<http://www.greencarcongress.com/2007/12/so-paolo-puts-e.html>>. Acesso em 10 de Abr. 2017.

IVECO. **Bi-fuel**, 2011a. Disponível em: <http://www.iveco.com/brasil/produtos/pages/bi_fuel_carac_bene.aspx>. Acesso em: 1 de Nov. 2016.

IVECO. **Primeiro caminhão do mundo movido a diesel e etanol e com cara e sotaque brasileiros**, 2011b. Disponível em: <<http://www.blogiveco.com.br/iveco-trakker-bi-fuel-ethanol-diesel-reducao-no-uso-de-combustivel-fossil-com-retorno-economico-ao-operador/>>. Acesso em 20 de Mar. 2017.

KERR, A.S.; CORREIA, A.; SANTOS, L.C.A.; LEITE, M.A.; XAVIER, M.E.R.; VERÍSSIMO, T.G.; SILVA, A.S. Notas sobre poluição do ar-I. **Notas de Aula**, 2009. 30p. Disponível em: <<http://www.fap.if.usp.br/~akerr/texto1.pdf>>. Acesso em 10 de Abr. 2017.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos avançados**, v.24, n.68, p.223-253, 2010.

KOIKE, G.H.A.; DAL BEM, A.J.; PASSARINI, L.C. Utilização de etanol em motores de ciclo diesel. **Minerva**, v.3, n.2, p.141-149, 2003.

LASCALA, T.L.S. **Externalidades da substituição do diesel pelo etanol no transporte público urbano da região metropolitana de São Paulo**. 2011. 269f. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LEÃO, R.M. **Álcool, energia verde**. Embu: Iqual. p. 224-225, 2002.

MOTTA, G.P.O. Análise de alternativas e impactos para substituição do diesel por etanol no processo de produção sucroalcooleiro. **Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP**, 2011.

MUSSMANN, L.; SOEGER, N.; SESSELMANN, R.; KREUZER, T.; SCHNEIDER, W.; DEMEL, Y. **Catalisador para redução de gases poluentes contendo nitrogênio do gás de escape de motores diesel**. BR PI 0712461-9 A2. 31 de Jul. 2012.

NEWSROOM. **Nos caminhos do etanol**, 2014. Disponível em: <<http://newsroom.scania.com/br/2014/12/17/nos-caminhos-do-etanol/>>. Acesso em 20 de Mar. 2017.

NOTÍCIAS AUTOMOTIVAS. **Scania p270: lançamento do caminhão movido a etanol**, 2012. Disponível em: <<https://www.noticiasautomotivas.com.br/scania-p270-lancamento-do-caminhao-movido-a-etanol/>>. Acesso em 28 de Abril 2016.

OMECANICO. **Emissão quase zero de poluentes**, 2015. Disponível em: <<http://omecanico.com.br/emissao-quase-zero-de-poluente/>>. Acesso em 10 de Fev. 2017.

PAUFERRO, M.T.D.O. **Uso do etanol como combustível para motores diesel: uma discussão sobre a viabilidade**. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA – Gestão Ambiental e

Práticas de Sustentabilidade), Escola de Engenharia do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul – SP, 2012.

PÉREZ, E.P.; CARVALHO, J.; CARROCCI, L.R. Substituição do óleo diesel por álcool etílico hidratado na queima direta, uma comparação. IN: Encontro de Energia no Meio Rural, 6, **Proceedings ...**, 2006.

PÉ NA ESTRADA. **Caminhão movido a etanol da certo**, 2016. Disponível em: <<http://www.penaestrada.com.br/caminhao-movido-a-etanol-da-certo/>>. Acesso em 6 de Jan. 2017.

RIBAS, F.T. **Formulação de um combustível a partir de uma mistura de etanol e aditivos especiais para o uso em motores a óleo diesel**. BR PI 1104363-6 A2. 05 de Jan. 2016.

RUSHLANE. **Scania Green bus índia unveil**, 2015. Disponível em: <<https://www.rushlane.com/amp/scania-green-bus-india-unveil-12158505.html>>. Acesso em 20 de Mar. 2017.

SCANIA. **Scania inova e emprega tecnologia do motor a etanol em caminhão**, 2011. Disponível em: <http://www.fenatran.com.br/rxb/rxb_fenatran_v2/documents/imprensa/rel_etanol_final.pdf>. Acesso em 20 de Jan. 2017.

TRUCKS CARDEKHO. **Scania showcases green bus and metrolink bus at icept**, 2015. Disponível em: <<https://trucks.cardekho.com/en/news/detail/scania-showcases-green-bus-and-metrolink-bus-at-icept-136.html>>. Acesso em 28 de Abr. 2016.

UNICA. **Stockholm expands use of ethanol-powered buses developed in Brazil**, 2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/news/38990375920332180623/stockholm-expands-use-of-ethanol-powered-buses-developed-in-brazil/>>. Acesso em 30 de Mar. 2017.

UNICA. **Ethanol-powered buses advance in sweden, strengthen idea of sustainable urban transport**, 2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/news/22317484920341693540/ethanol-powered-buses-advance-in-sweden-por-cento2C-strengthen-idea-of-sustainable-urban-transport/>>. Acesso em 30 de Mar. 2017.

VIAN, C.E.F.; ANDRADE JÚNIOR, A.M. Evolução histórica da indústria de máquinas agrícolas no mundo: origens e tendências. In: **Trabalho apresentado no Congresso da**

Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Campo Grande, MS. Available at: Accessed on: March. 2010. p. 2015.