



De 19/10/2016 a 21/10/2016

EVOLUÇÃO DOS MOTORES DIESEL E A CONSEQUENTE REDUÇÃO DA EMISSÃO DE POLUENTES

WACHHOLZ, Luís Carlos ^{1*}, SANTOS, Cristiano Rosa dos², REICHERT, Marliza Beatris³, DALCIN, Rafael Luciano⁴, SILVA, Gilberto Carvalho da⁵.

^{1 3 4 5} FAHOR, Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, RS.

² FAHOR, Curso de Engenharia de Controle e Automação, Faculdade Horizontina, Horizontina, RS. *e-mail: wachholzluisc@fahor.com.br

RESUMO

Nas últimas 3 décadas, a tecnologia evoluiu rapidamente e em todas as áreas, seja na comunicação, na saúde, em máquinas, entre muitas outras. Na área de máquinas de uso para movimentação, onde é necessário algum tipo de motor para acionar, a evolução tecnológica também está presente. Muitos motores, fabricados a mais de 30 anos, ainda estão em funcionamento e observa-se nitidamente a diferença entre eles em dois aspectos muito importantes que são o aumento da potência dos motores em tamanho cada vez menor e a redução drástica da emissão de poluentes. Assim, neste trabalho, identifica-se cinco gerações de motores onde o ponto principal deste grande aumento de potência se dá basicamente na redução da temperatura do ar de entrada no coletor de admissão e a alta pressurização do combustível na câmara de combustão. Estes dois itens associados, dentre outros itens também citados, permite termos um motor com uma maior potência e uma menor emissão de poluentes, visto que a queima deste combustível torna-se quase que total. Aliada a esta redução de poluentes pelo coletor de escape, cita-se ainda alguns processos para redução ao máximo destas emissões, como Recirculação dos Gases de Escape (EGR), Soluções em cilindros com ignição com compressão pré-misturada e melhorias no design da câmara de combustão e as tecnologias para pós-tratamentos que envolvem a Decomposição Catalítica Nox, Catalizador de Oxidação Diesel (DOC), Filtro de Partículas Diesel (DPF) e Redução Catalítica Seletiva (SCR). Todos estes itens agregados, formam um motor preparado para respeitar o meio-ambiente sem perder sua potência original.

Palavras-chave: Motores Diesel, Emissão de poluentes, mistura ar-combustível

DIESEL ENGINES EVOLUTION AND CONSEQUENTIAL POLLUTANT'S EMISSIONS REDUCTION

ABSTRACT

In the last 3 decades, the technology is growing quickly in all areas, communication, health, machines, among many others. In terms of machinery used for moving, where you need some type of engines to actuate, the technological evolution is also present. Many engines, manufactured more than 30 years ago, are still in operation, and it is observed clearly the difference between them in two very important aspects that are to increase the power of engines in size becoming smaller and the drastic reduction of the emission of pollutants. Thus,

this paper identifies five generations of engines where the main point of this large increase in power is in the reduction of inlet air temperature in the intake manifold. These two items associated, among other items also mentioned, allows having an engine with a higher power and lower emissions since burning of such fuel becomes almost total. Allied to the reduction of pollutants by the exhaust manifold, it is still quoted some processes to reduce as much as possible these emissions, such as Exhaust Gas Recirculation (EGR), solutions in cylinders with the ignition as the compression pre-mixed, and improvements in the design of the combustion chamber and the technologies to post-treatments which involve the Decomposition Catalyst Nox, and Catalyst of Oxidation Diesel (DOC), Diesel Particulate Filter (DPF) and Selective Catalytic Reduction (SCR). All of these aggregated items form an engine prepared to respect the environment without losing its original power.

Keywords: Diesel Engines, Emission of pollutants, fuel-air mixture.

INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos observamos um aumento significativo de indústrias destinadas para a fabricação de máquinas e veículos automotores de várias naturezas. Com eles, o desenvolvimento tornou-se a linha condutora de uma economia globalizada na busca de qualidade de vida e a garantia da nossa própria existência. Desta forma, a tecnologia embarcada nestes produtos, sempre aliadas às melhorias nos materiais para os conjuntos mecânicos, hidráulicos, elétricos e eletrônicos se deve em grande parte pela crescente demanda por sistemas automatizados para o controle de suas funções. Destes produtos, um item que tem uma crescente evolução neste período são os motores diesel, onde sua maior parte está concentrada em caminhões e veículos agrícolas. Destas evoluções citamos dois itens que são os principais neste processo tecnológico que é o aumento da potência do motor por unidade de volume do motor, resultando em um número cada vez maior de Kg/Cv e a crescente diminuição das emissões de poluentes baseadas.

Os idealizadores de toda esta tecnologia iniciada há algumas décadas, não se preocupavam muito com as questões ambientais. Eram poucos equipamentos e os resíduos e emissões despejados na natureza não produziam maiores impactos. Porém, com o passar dos anos, e principalmente com as projeções para o futuro, as emissões provenientes destes equipamentos passaram a interferir diretamente na qualidade do ar que respiramos, essencial às nossas vidas. Todos os motores de combustão interna - diesel, gasolina, etanol, gás natural - produzem emissões de gases contendo dezenas de componentes como monóxido e dióxido de carbono (CO e CO₂), hidrocarbonetos (HC), óxido e dióxido de nitrogênio (NO_x) entre outros. Além destes gases, os motores a diesel também produzem partículas finas (PM - do inglês *particulate matter*) que são descarregadas diretamente no meio ambiente. Isto levou a

Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (EPA) e as similares na Europa e Japão a direcionar seus esforços na definição de normas de emissões primeiramente para o mercado dos motores veiculares, sendo que para os motores a diesel dos equipamentos fora de estrada, as normas vieram mais tarde, porém, mais rigorosas em relação aos motores veiculares.

O objetivo deste artigo é de relatar a evolução dos motores ao longo das últimas 3 décadas de utilização, evidenciando-as em 5 gerações de motores, todos de 6 cilindros e de mesmo volume de ar com 6,8 litros. Ao mesmo tempo, com a evolução dos motores, relatar algumas melhorias que os fabricantes de motores fizeram nos sistemas dos motores que beneficiam o meio ambiente em função da redução da emissão de poluentes.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 Diesel

Em 1897, Rudolf Diesel patenteou um dos mais importantes sistemas mecânicos da história da humanidade, um motor de combustão interna, em que ocorre um fenômeno natural a partir de uma reação química entre um óleo de origem vegetal ou derivado de petróleo e o oxigênio conferindo à mistura um alto poder de explosão, conforme citado por BRUNETTI (2012). O combustível óleo diesel é um derivado do petróleo bruto, composto basicamente por hidrocarbonetos (compostos orgânicos que contém átomos de carbono e hidrogênio) apresenta também enxofre e nitrogênio. O óleo diesel tem como característica em veículos motorizados, maior poluição ao meio ambiente, devido sua composição química e característica de queima, porém, apresenta maior segurança na prevenção de incêndio e em situações de perigo de fogo, isto se deve ao fato que o óleo diesel é apenas inflamável pelo fogo a elevadas temperaturas e pressões.

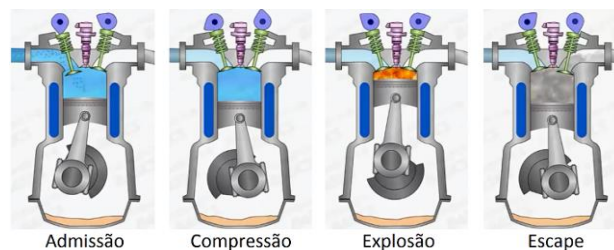
2.1.2 Oxigênio

O elemento oxidante utilizado em motores de combustão interna é o oxigênio encontrado no ar atmosférico. O ar atmosférico é constituído por diversos gases como argônio, hélio, mas os mais abundantes são o nitrogênio e o oxigênio, com aproximadamente 78% e 20% do volume respectivamente, conforme citado por BRUNETTI (2012).

2.1.3 Motores Diesel

Os motores diesel apresentam uma robustez maior que motores ciclo otto (gasolina e álcool), devido seu funcionamento ter possibilidade de ser totalmente mecânico, precisando apenas de um motor de partida elétrico ou ignição mecânica por meio de manivelas para iniciar seu funcionamento, essa mecânica simples do motor diesel o torna mais resistente que um motor do ciclo otto, conforme citado por BRUNETTI (2012). O motor diesel é um motor de combustão interna, em que a combustão do combustível se faz pelo aumento da temperatura provocado pela compressão, sendo em pressão constante, da mistura inflamável (ar + óleo diesel). As principais diferenças entre os motores ciclo otto e os motores ciclo diesel se devem ao fato de os motores movidos à gasolina funcionarem com a taxa de compressão que varia de 8:1 a 12:1, e nos motores diesel esta varia de 14:1 a 25:1, a combustão ocorre pela injeção direta do combustível na câmara de combustão, inflamando-se ao entrar em contato com o ar aquecido pela combustão. Um um ciclo completo do motor diesel dará duas voltas no virabrequim e estará ocorrendo os quatro tempos, conforme mostrado na Figura 1.

FIGURA 1 - Funcionamento do motor diesel quatro tempos



Fonte: [hwww.youtube.com/2016](http://www.youtube.com/2016)

- no primeiro estágio do ciclo de combustão, o ar é aspirado para o interior do cilindro, penetrando nele através da válvula de admissão;
- durante o segundo estágio, chamado de compressão, o pistão sobe e comprime o ar dentro do cilindro;
- no terceiro estágio o combustível é injetado, por um bomba mecânica que eleva a pressão do combustível para aproximadamente 25 MPa nos injetores, no ar comprimido à alta temperatura, entrando em combustão espontânea e forçando o cilindro para baixo;
- no último estágio, denominado de exaustão, os gases que se formam na fase anterior são expelidos do interior do cilindro pelo movimento ascendente do pistão.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa será do tipo aplicada, com estudo de caso do tipo instrumental, pois será estudado o caso particular visando compreender o fenômeno em questão. Desta forma, procurou-se em diversas bibliografias sobre o assunto, buscando informações que evidenciem a evolução dos motores e da redução de emissão de poluentes. As gerações dos motores foram citadas com base nos relatos de um dos autores ao longo de 34 anos de experiência em atividades relacionadas aos treinamentos de operação, ajustes, manutenção, diagnóstico e reparação de máquinas agrícolas onde pode-se acompanhar toda a evolução tecnológica destes motores nestas 3 décadas. Para estas análises, foi utilizado para o estudo de caso as referências de volume em um motor de 6 cilindros e de 6,8 litros.

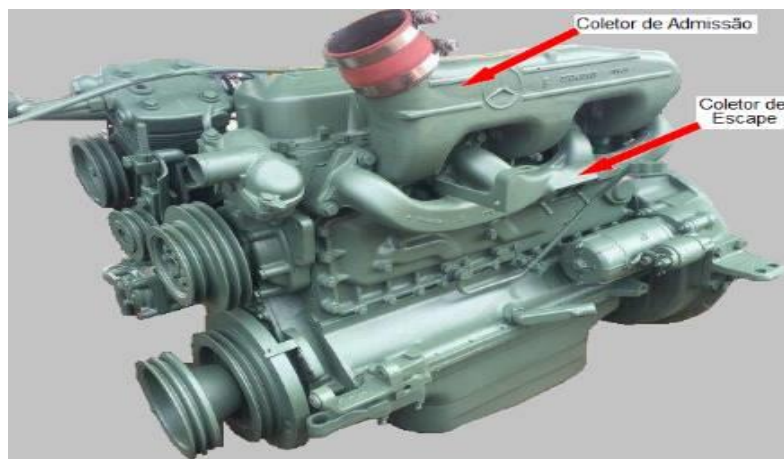
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 A evolução dos projetos dos motores diesel.

- 1ª Geração: Motor com admissão de ar e escapamento no mesmo lado

Analisando o processo termodinâmico existente nos motores, o mesmo admite ar a uma temperatura ambiente, sendo imediatamente aquecido em função da compressão e assim que é injetado o combustível ocorre a explosão. Na primeira geração de motores, para alguns fabricantes, em seus motores o sistema de exaustão se localizava no mesmo lado do sistema de admissão de ar. Logo o coletor de ar da admissão, em contato próximo por convecção do ar, por condução e por radiação térmica era aquecido em função da alta temperatura dos gases que aqueciam o coletor de escape. Este aquecimento do ar de entrada do motor faz com que ele se expande, aumentando o tamanho da sua molécula de ar e em um mesmo volume do motor (6,8 litros), estaria colocando menos quantidade de ar fazendo com que o motor tivesse uma potência reduzida e conseqüentemente, estaria gerando uma quantidade maior de emissões. A Figura 2 mostra um modelo de motor aspirado com o sistema de entrada de ar e saída do escape do mesmo lado. O sistema de injeção de combustível era através de uma bomba injetora mecânica pressurizando o combustível segundo a ordem de explosão a uma pressão em torno de 25 MPa.

FIGURA 2 - Motor 6068D com coletor de admissão de ar e escape no mesmo lado

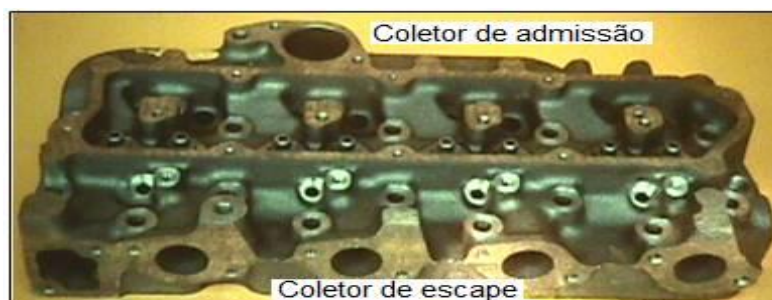


Fonte: <http://sp.olx.com.br/regiao-de-sorocaba/veiculos/pecas-e-acessorios/caminhoes-onibus-e-vans/motor-mercedes-benz-om-366-la-190534318> e alterado pelo autor.

- 2ª Geração: Motor com admissão de ar por fluxo cruzado e aspirado.

Nestes modelos, no cabeçote o coletor de admissão está em um dos lados do motor e o coletor de escape do outro lado. Desta forma, o ar de entrada aspirado naturalmente, entra pelo coletor de admissão, cruza o motor, por isto chamado de “fluxo cruzado” e sai os gases da combustão pelo lado do coletor de escape. Estima-se que, com este sistema, a potência do motor seja em torno de 10% a mais do que os motores com sistema de admissão e escape do mesmo lado, conforme mostrado na Figura 3. Como o ar de entrada não tem contato direto com as partes quentes advindas do coletor de escape, a temperatura do ar de entrada será a mais próxima da temperatura ambiente.

FIGURA 3 - Cabeçote de motor 6068D com sistema de fluxo cruzado



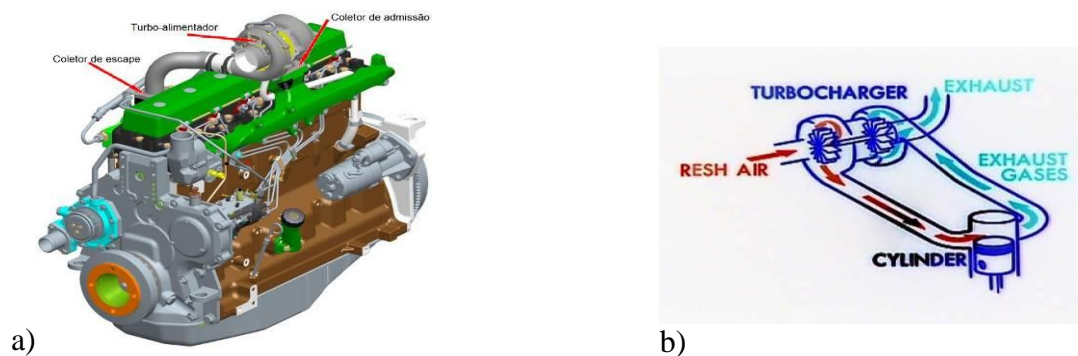
Fonte: Produto John Deere e alterado pelo autor

- 3ª Geração: Motor com admissão ar de fluxo cruzado e turbo-alimentado.

Para introduzir mais ar para dentro da câmara de combustão, sem alterar o volume dos cilindros e obter um maior rendimento em termos de potência para o motor, adotou-se um

sistema de pressurização do ar através de turbinas, denominando-se estes tipos de motores de “turbinados”, conforme mostrado na Figura 4. A rotação destas turbinas provém da velocidade de saída dos gases da exaustão, succionando o ar externo através do filtro de ar e pressurizando-o na câmara de combustão. Esta pressurização coloca um volume em torno de 0,7 a 0,9 bar (utilizado como referência os dados de um modelo John Deere 6068TF a 2400 rpm) acima da pressão absoluta. Desta forma, o volume original de 6,8 litros passaria a ter um volume de 11,4 a 13,3 litros de ar. Com a mistura correta de combustível e ar, aumentaria a potência em até 60%. Turbocompressores standard ou com válvula *wastegate* tem a função de comprimir o ar com pressão atmosférica para dentro da câmara de combustão. Existem alguns tipos de turbocompressores que possuem uma geometria variável de compressão (VGT - Variable Geometry Turbocharger) que ajuda na recirculação dos gases de escape. O VGT adapta a quantidade de ar recirculado que se mistura com o ar fresco. Este sistema auxilia o sistema EGR na recirculação de gases, pois gera a quantidade mais precisa para a recirculação.

FIGURA 4 – a) Motor 6068T com sistema de fluxo cruzado e turbo-alimentado b) Fluxo de ar e gases no Turbo-alimentador



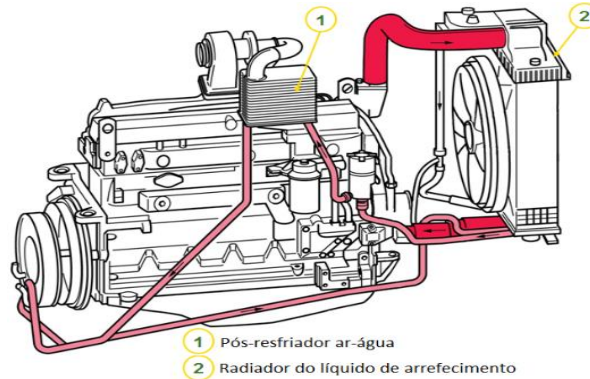
Fonte: Site John Deere e alterado pelo autor

4ª Geração: Motor com admissão ar de fluxo cruzado, turbo-alimentado e pós-resfriado

Com a turbina pressurizando o ar para dentro da câmara de combustão teve um grande aumento em termos de potência e redução de poluentes, porém o ar ao entrar em contato com as partes quentes da turbina e pelo próprio processo de compressão do ar, eleva a sua temperatura e com isso aumenta o tamanho da sua molécula resultando em uma menor quantidade de ar pressurizado. Em vista a esta redução da quantidade de ar, foi desenvolvido os sistemas pós-resfriadores, conforme mostrado na Figura 5, cuja finalidade é resfriar o ar

após sua pressurização pela turbina e antes de entrar no coletor de admissão. Existem dois processos para o resfriamento do ar, o sistema Ar-Ar e o sistema Ar-Água. O sistema de pós-resfriamento é responsável por um aumento real na potência em torno de 23%.

FIGURA 5 – Motor 6068H com admissão ar de fluxo cruzado, turbo-alimentado e pós-resfriado Ar-Água

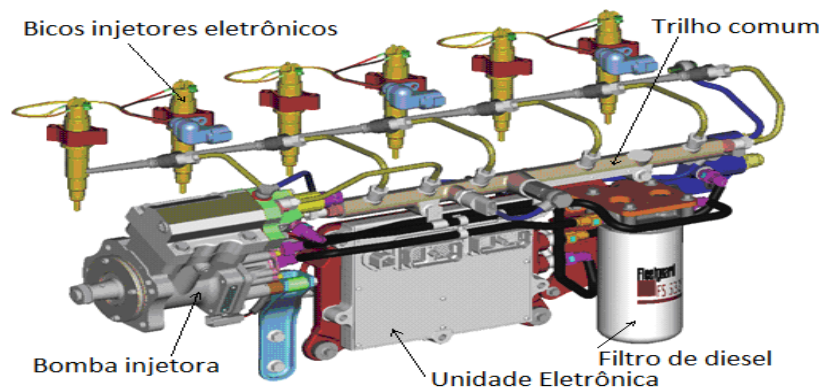


Fonte: Site John Deere e alterado pelo autor

5ª Geração: Motor com admissão ar de fluxo cruzado, turbo-alimentado, pós-resfriado e sistema de injeção de combustível COMMON RAIL.

Através do processo de pressurização e refrigeração do ar de entrada para o motor consegue-se um grande aumento na potência dos motores e uma redução da emissão de poluentes. Em toda as gerações anteriores, o sistema de injeção pressurizava o combustível a uma pressão em torno de 250 bar, sendo que na quinta geração de motores, através dos sistemas eletrônicos de gerenciamento do motor e da injeção de combustível em alta pressão denominado pela sigla HPCR (*High Pressure Common Rail*), que significa um trilho comum de alta pressão, conforme mostrado na Figura 6, o combustível é pressurizado a uma pressão entre de 1400 a 1800 bar e disponibilizada para cada bico injetor eletrônico, onde o sistema eletrônico, gerencia a quantidade de combustível através da pressão do combustível e tempo de abertura da válvula solenóide de cada bico injetor conforme a sua ordem de explosão.

FIGURA 6 – Sistema de injeção de combustível de alta pressão (HPCR – High Pressure Common Rail)



Fonte: Operation – Motores emissionados

Como a pressão de injeção do combustível é alta, e com isso a partícula dela, após a injeção, é muito menor em tamanho (quase na forma de gás) o aproveitamento desta para gerar a explosão é grande, resultando em uma queima quase que completa do combustível, gerando mais potência e reduzindo muito a emissão dos poluentes.

2.3.2 Componentes periféricos

Em cada uma das situações de aumento de potência citado, desde que se tenha uma mistura adequada de ar e combustível, os componentes periféricos do motor necessitam ser compatíveis com o aumento da potência, pois as turbinas, bomba de água, radiador, quantidades de óleo lubrificante e líquido de arrefecimento diferem de um motor para outro, de mesmo tamanho (6,8 litros) mas com potências diferentes. Então, não é somente alterando algumas características no motor (refrigeração do ar de entrada e injeção de combustível a alta pressão) que iremos ter um motor que tenha realmente esta potência, e sim temos que ter um conjunto de alterações no motor para que ele resista a este aumento de potência.

2.3.3 Outras características que produzem aumento de potência

Além destes dois itens (refrigeração do ar de entrada e injeção de combustível à alta pressão) que fazem com que diferencie em muito um motor do outro em relação à potência, existe outros itens que poderiam ser trabalhados no motor para aproveitar melhor a potência disponível, como aumentar a cilindrada, elevar a taxa de compressão, facilitar a entrada de ar e a saída dos gases queimados e diminuir o peso dos componentes.

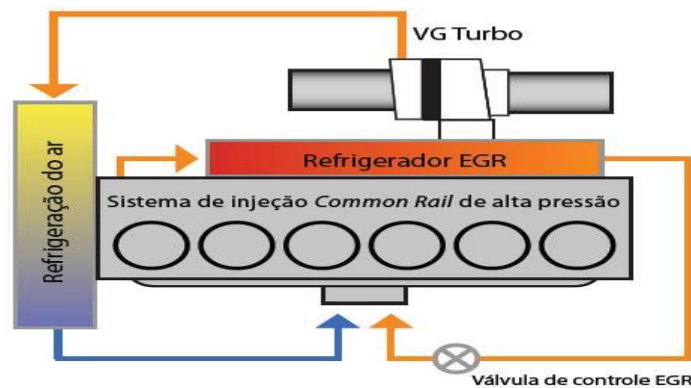
2.3.4 Opções de tecnologia para redução das emissões

A redução de emissões não precisa ser obtida com a diminuição do desempenho do motor. Estão disponíveis várias tecnologias para redução de emissões que proporcionam excelentes desempenhos com baixo consumo de combustível e alta performance de cada motor. Dentre algumas tecnologias já citadas como: arrefecimento do ar de admissão, turbo compressores, sistemas eletrônicos de injeção de combustível (*Common Rail*), e gerenciamento eletrônico do motor, temos ainda outras tecnologias disponíveis para reduzir as emissões que incluem:

a) Recirculação dos gases de escape (EGR)

Quanto mais baixa a temperatura de combustão de um motor, menor a geração de óxido e dióxido de nitrogênio (NOx). EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) é um método eficiente para reduzir o máximo da temperatura de combustão e reduzir o NOx. O conceito é simples, através da válvula EGR uma parte dos gases de escape é encaminhada de volta para o coletor de admissão e misturado com o ar fresco de entrada, conforme mostrado na Figura 7. Este processo remove parte de oxigênio do ar, reduzindo a temperatura da combustão, diminuindo assim os níveis de NOx. O sistema EGR é utilizado para a obtenção dos níveis de emissão exigidos na etapa TIER 3 / Estágio III, pois aumenta a eficácia da redução de NOx.

FIGURA 7 – Sistema de Recirculação dos gases de escape (EGR)



Fonte: Operation – Motores emissionados

b) Soluções em cilindros

Design da câmara de combustão - Quanto melhor a queima da mistura na câmara de combustão, menor será a emissão de poluentes. Por isto, os pesquisadores de desenvolvimento de motores desenham novos perfis de cabeças de cilindros e válvulas de admissão e escape para que o volume interno proporcione a melhor queima possível. A ideia central é criar a entrada de ar dentro da câmara de combustão com mais turbulência. O ar turbulento, quando se mistura ao combustível, gera uma mistura mais homogênea permitindo

assim a queima quase integral de todo o volume. Esta tecnologia reduz a emissão de poluentes e melhora o desempenho do motor com mais economia de combustível.

Ignição com compressão pré-misturada - Na combustão tradicional de diesel, a queima ocorre em regiões de boa pulverização resultando em altas temperaturas e alta emissão de NOx. Com o sistema ignição com compressão pré-misturada (*PCI - Premixed Compression Ignition*), a mistura é gerada em uma câmara auxiliar. Desta forma ela chega à câmara principal já homogeneizada permitindo assim uma queima mais eficiente. Esta técnica reduz o NOx sem o uso de recirculação dos gases de escape.

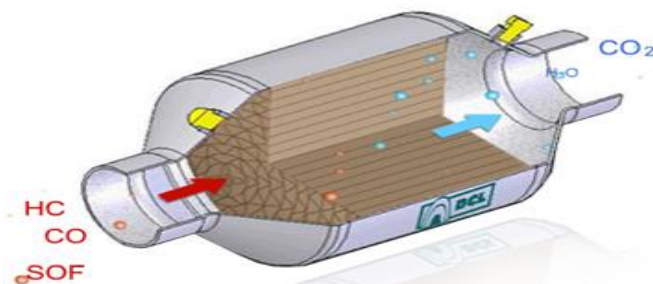
c) Tecnologias para Pós-Tratamentos

Decomposição Catalítica NOx - Consiste na utilização de catalizadores para a eliminação do NOx. Existem dois tipos de decomposição catalítica de NOx com diferentes métodos de regeneração. O primeiro, porém pouco e de baixa eficiência é o catalisador DeNOx. Um sistema à base de metais preciosos que reduz os hidrocarbonetos em uma corrente de escape rico em oxigênio. Sem o uso de controles eletrônicos, a eficiência do catalisador para a redução de NOx é inferior a 10%. Quando os controles eletrônicos são usados, a eficiência aumenta, porém não ultrapassa a 30% - com uma desvantagem substancial na economia de combustível. O catalisador mais eficiente é o adsorvente de NOx (NAC), ou às vezes chamado LNT (*Lean-NOx Trap*). Deve ser regenerado em uma atmosfera de oxigênio deficiente, exigindo assim controles mais sofisticados. Quando a unidade está limpa, ela pode reduzir o NOx em até 90%. No entanto, é muito sensível para aos níveis de enxofre presentes no combustível e pode perder a eficiência rapidamente, quando expostos a altos teores de enxofre. Quando isso acontece, o enxofre tem de ser removido do catalisador. Além de controles sofisticados, este sistema exige termicamente do motor e não proporciona economia de combustível. Com utilizações de controles eletrônicos este tipo de catalisador é capaz de manter a eficiência maior que 60% durante a vida do motor.

Catalisador de oxidação diesel (DOC) - O catalisador de oxidação diesel (DOC), conforme mostrado na Figura 8, não reduz o NOx, mas é eficaz na redução de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), fração orgânica solúvel (SOF) e algumas partículas finas (PM). O fluxo através deste catalisador oxida ambos os gasosos (voláteis) hidrocarbonetos e os semi-voláteis de PM conhecidos como fração volátil orgânica (VOF). Em temperaturas mais elevadas, estes catalizadores também podem oxidar enxofre nos gases de escape para formar sulfato PM. Os catalizadores de oxidação diesel operam com a máxima eficiência quando as concentrações de enxofre no combustível estão próximos de 0,05% ou

menos. A redução nas emissões de partículas (PM) estão na faixa de 20%. Para as emissões de hidrocarbonetos (HC) a redução chega a 50% e de monóxido de carbono (CO) a 40%.

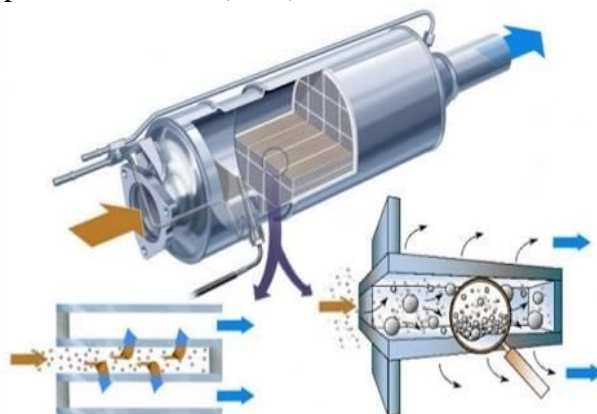
FIGURA 8 – Catalisador de Oxidação Diesel (DOC)



Fonte: Clube do Diesel - Catalisador: o futuro aliado

Filtro de partículas diesel (DPF) - A tecnologia DPF (*Diesel Particulate Filter*) provavelmente será uma das opções mais usadas para cumprir a redução de partículas em Tier 4 /Classe III B Interino e Tier 4 /Classe IV final. Os fabricantes estão trabalhando muito para reduzir o custo e otimizar o tamanho desses dispositivos pós-tratamento. Os sistemas DPF, conforme Figura 9, são responsáveis pela eliminação de PM (Particulate Matter) provenientes dos gases de escape. O fluxo de gás passa através dos poros presentes nas paredes do dispositivo e com a ajuda de um catalisador as partículas (PM) geradas na queima são eliminadas.

FIGURA 9 – Filtro de partículas diesel (DPF)



Fonte: Operation – Motores emissionados

Em função das elevadas temperaturas de escape necessárias para que esta regeneração ocorra, o desafio é projetar sistemas DPFs que fornecem regeneração consistente em todos os níveis de funcionamento do motor. Filtros de partículas diesel com atuação ativa resolvem este problema, utilizando o aumento da temperatura dos gases de escape e a pressão oposta gerada pelo calor. A tendência é o surgimento de sistemas DPF ativos que vão desempenhar a mesma função em condições normais de operação. Metais e resíduos ou cinzas encontradas

no óleo lubrificante podem ficar presos no DPF. Uma vez que as cinzas e metais não podem ser queimados durante a regeneração de fuligem, eles são deixados no filtro. A acumulação pode eventualmente entupir o filtro e precisar de manutenção e limpeza. O uso de óleo lubrificante com baixo teor de cinzas pode aliviar este problema.

Redução Catalítica Seletiva (SCR) - A Redução Catalítica Seletiva (SCR) é uma opção de pós-tratamento que requer um aditivo à base de ureia para reduzir as emissões de NOx. Quando a ureia entra em contato com os gases de escape do motor dentro do catalizador, uma reação química se inicia e o NOx presente nos gases de escape é convertido em oxigênio, nitrogênio e água. Este método, conforme mostrado na Figura 10, apesar do elevado custo por causa do tanque extra, bomba, componentes associados, sistema de gerenciamento eletrônico e o próprio aditivo SCR, além do controle logístico, fornece a melhor eficiência na redução de NOx quando comparado com outros métodos.

FIGURA 10 – Redução catalítica seletiva (SCR)



Fonte: Operation – Motores emissionados

CONCLUSÃO

Este trabalho é de suma importância visto o crescente uso de máquinas movidas a combustível seja diesel, gasolina, álcool ou algum tipo de gás. A necessidade da otimização da potência reduzindo seu tamanho e ainda introduzir sistemas que gerenciam a redução das emissões torna-se um desafio para os Engenheiros projetistas destas máquinas, principalmente devido à necessidade de adequação destes motores, exigências internacionais de emissão de poluentes. A crescente procura por utilização de combustíveis de fontes renováveis será de grande ajuda ao meio ambiente e este deverá ser o grande desafio para suprir as necessidades de combustíveis para estas máquinas no futuro.

REFERÊNCIAS

BLOG DO CAMINHONEIRO. **A evolução dos motores a diesel no Brasil**, 2012. Disponível em <<http://blogdocaminhoneiro.com/2012/08/a-evolucao-dos-motores-a-diesel-no-brasil/>>. Acesso em 08 ago. 2012.

JOHN DEERE. **Motores a diesel certificados para aplicações industriais**. Disponível em <https://www.deere.pt/pt_PT/products/equipment/industrial_and_agricultural_engines/tier_3_stage_3_a/tier_3_stage_3_a.page>.

OPERATION. **Motores emissionados**. 2016. Disponível em <http://www.operation.com.br/motores-emissionados>>.

WIKIPÉDIA. **Motor a Diesel**. 2016. Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_a_diesel>.

YANMAR. Tier 4: **Território desconhecido para engenheiros do mundo todo**. 2016. Disponível em <<https://www.yanmar.com/br/technology/tier4.html>>.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna** – Vol 1. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 2012.