

ASPECTOS GERAIS SOBRE A IMPORTÂNCIA DO ARLA 32

Mairon Dantas dos Santos¹; Raymiler Loureiro Serra¹; Cristiane Pirola Narimatsu^{2*}

¹ Engenheiro Químico – FITL/AEMS; ² Doutora em Engenharia Química – UFSCar, engenheira química – UEM, docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

* autor correspondente: krikapn2007@hotmail.com

RESUMO

Os combustíveis fósseis são as principais fontes de energia para motores a combustão e dificilmente serão mitigados nos próximos anos, porém com o avanço das tecnologias e pesquisas relacionadas as condições climáticas, há outras alternativas que visam não somente substituí-los, que é a principal dificuldade nos debates anuais de condições climáticas disposta pela Organização das Nações Unidas (ONU) e a primeira opção quando falamos em aquecimento global, mas também em transformar esses gases nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, em outros componentes que não são prejudiciais. Aliando as novas tecnologias com a química, estão sendo alcançados resultados que permitem uma redução significativa na emissão dos óxidos de nitrogênio (NOx), um dos principais poluentes originados na combustão em motores a diesel, utilizados em larga escala nos setores de transportes ao redor do mundo, este composto é o Agente Redutor Líquido Automotivo (ARLA 32), que é uma solução química de ureia, utilizada no sistema de redução catalítica seletiva, tecnologia utilizada em automotores, com alto potencial de conversão dos gases causadores do efeito estufa, essa fusão já vem sendo colocada em prática por grandes montadoras em seus veículos movidos a Diesel, pois juntos transformam o Nox em nitrogênio e água, elementos não prejudiciais ao planeta.

PALAVRAS-CHAVES: otimização química; sistema SCR; ureia; tecnologia; sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O óleo diesel é um dos principais vilões quando se trata de meio ambiente e saúde dos seres vivos, pois dentre os combustíveis fósseis, é um dos mais consumido no Brasil e no mundo, principalmente no setor de transportes de cargas e passageiros, sendo a opção mais econômica do mercado, gerando um grande passivo ambiental com a sua combustão em motores, emitindo compostos químicos como monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) que causam danos irreparáveis à saúde humana, principalmente no sistema respiratório devido a inalação dessas

substâncias, além de irreversíveis problemas ambientais como o aquecimento do planeta (ABREU et al., 2018).

Os motores a diesel funcionam com altas temperaturas na câmara de combustão, gerando altas taxas de expansão nos cilindros e menor perda de calor pelos gases do escapamento, tornando-os altamente eficientes e com baixo consumo de combustível descritos do ciclo de Diesel. Mas para isso necessitam de uma quantidade extra de oxigênio, o que somado às elevadas temperaturas existentes criam o meio ideal para a síntese de substâncias prejudiciais ao meio ambiente, como o monóxido de carbono (CO), os óxidos e dióxidos de

nitrogênio (Nox), hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SOx), além do material particulado (MP) (ZHENG, 2004).

O modal rodoviário representa a maior parte da matriz de transporte brasileira. Utilizando-se dele tem-se a frota de ônibus para transporte público, urbano, interurbano e internacional, e os transportes de cargas, sendo a modalidade rodoviária desse segmento a que possui maior participação, cerca de 61,1% de toda a movimentação no país (ABREU et al., 2018).

A frota rodoviária nacional desse tipo de veículo foi composta, em 2020, por 2.270.861 caminhões e tratores, além de 107.000,00 ônibus, e a venda de óleo diesel pelas distribuidoras atingiu valores de 56.578.351,39 m³, sendo boa parte desse volume consumido pela frota mencionada e com um potencial de crescimento real para os próximos anos (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE (CNT), 2023).

Apesar da elevada importância econômica e da enorme estrutura que possui, o transporte rodoviário de cargas enfrenta inúmeros problemas, em comparação as frotas de menor porte, devido as condições precárias das vias e a idade média avançada da frota de veículos pesados. Essas características trazem ao setor certas consequências, em destaque no que diz respeito a segurança das operações, ao elevado consumo de óleo diesel e à emissão de poluentes para a atmosfera (ABREU et al., 2018).

O objetivo deste trabalho é descrever a eficiência do ARLA 32 na quebra do Nox, gases nocivos à saúde humana e ao planeta, gerados na combustão em motores a Diesel.

O desenvolvimento da escrita baseou-se em artigos científicos nacionais e internacionais (2003-2023) indexados em plataformas especializadas como, Scielo e Google Acadêmico. A seleção dos Artigos foi de acordo com a pertinência à temática e relevância ao estudo

utilizando as palavras-chaves, gases do efeito estufa, mitigar prejuízos ambientais, tecnologias renováveis, entre outras.

2 ÓXIDOS DE NITROGÊNIO

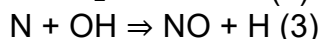
A mistura das substâncias monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) recebe o nome de NOx e estes contribuem com o monóxido (CO) e o dióxido de carbono (CO₂), gases com forte influência no aquecimento global que agravam gradativamente a situação ambiental, além de serem agentes na formação de chuvas ácidas, destruição da camada de ozônio e na poluição fotoquímica, são substâncias com alto potencial de danos ao meio ambiente e à saúde da população, haja visto que sua concentração na atmosfera vem aumentando em sua maior parcela devido a atividade humana (KELLER, 2021).

Uma das maiores fontes geradoras dos óxidos de nitrogênio é a queima de combustíveis fósseis, com uma contribuição significativa dos motores a combustão que utilizam o ar atmosférico como comburente ou até mesmo combustíveis que possuam elevada parcela de substâncias nitrogenadas em sua composição, e isso vem aumentando cada vez mais a presença, e em altas concentrações, desses óxidos nos centros urbanos. A formação de NO nos motores a combustão é maior do que a de NO₂, em torno de 95% do NOx gerado, porém ele pode oxidar facilmente a NO₂ com o oxigênio presente em todo o sistema. Eles podem se formar durante a queima do combustível através de três mecanismos que ocorrem durante a operação: o térmico, o imediato e o combustível (KELLER, 2021).

2.1 NOx térmico

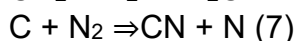
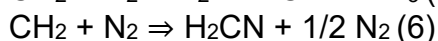
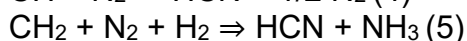
A formação pelo mecanismo térmico é a principal maneira com que os óxidos de nitrogênio são gerados durante a queima do combustível,

conversões descritas nas equações 1, 2 e 3. Ele ocorre majoritariamente nas câmaras de combustão, onde as temperaturas ultrapassam o valor de 1370°C, por ser um mecanismo muito dependente de altos valores dessa grandeza (KELLER, 2021).



2.2 NOx imediato

Esse mecanismo ocorre na frente da chama em situações de uma mistura rica em combustível e próximas a melhor relação estequiométrica e envolve a reação entre os radicais dos hidrocarbonetos com o nitrogênio e outros compostos nitrogenados, descritos nas equações 4, 5, 6 e 7. Por possuírem uma velocidade de geração maior, em relação ao NOx térmico, recebem o nome de NOx imediato (KELLER, 2021).



2.3 NOx combustível

O mecanismo do NOx combustível se dá em função dos compostos nitrogenados presentes no combustível que está sendo queimado. Eles acabam por se vaporizar na câmara de combustão, formando radicais nitrogenados que dão origem a uma série de reações com o oxigênio do ar e que produzirão os óxidos de nitrogênio. Trata-se de um mecanismo dependente da concentração de compostos nitrogenados no combustível e das altas temperaturas durante a combustão (KELLER, 2021).

3 LEGISLAÇÃO

O estudo realizado pela Agência Europeia do Ambiente (EEA) constatou que 39% da emissão total de NOx, na

União Europeia era oriunda do segmento de transportes, corroborando o fato dos veículos automotores serem um dos principais agentes de poluição atmosférica. O peso maior dessa poluição cai sobre os veículos movidos a óleo diesel, que apesar de desenvolverem altas potências com baixo consumo de combustível, possuem altos índices de emissão de material particulado e óxidos de nitrogênio (KELLER, 2021).

A União Europeia possui uma regulamentação, o chamado padrão EURO, que visa limitar e controlar as emissões de poluentes da maioria dos veículos que circulam por lá, abrangendo desde carros e caminhões até locomotivas. A partir de 2012 entrou em vigor o padrão EURO V, estabelecendo limites de emissão de NOx de 0,18 a 0,28 g/km para veículos leves, tanto de passageiros quanto comerciais, e de 2,0 g/km para veículos pesados, ônibus e caminhões (KELLER, 2021).

O órgão brasileiro responsável pelo controle das emissões é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que por meio do Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE), procura atender aos objetivos de redução da emissão de poluentes, desenvolvimento da tecnologia nacional, melhoria na qualidade dos combustíveis e conscientização pública sobre a poluição atmosférica gerada pelos veículos automotores. Desde a sua criação em 1986, o PROCONVE dividiu as categorias de veículos em fases L e P, abrangendo veículos leves e pesados, respectivamente (MELO et al, 2015).

Os caminhões, tratores e caminhonetes por exemplo, se enquadraram na fase P. Essa divisão se deu em função das características de construção e funcionamento dos tipos de motores e do combustível utilizado, pois essas variáveis acabam por diferenciar a quantidade e característica dos poluentes gerados. Ao longo dos anos o programa passou por diversas fases, onde os

limites de emissões dos poluentes e as tecnologias para atender esses limites foram sendo ajustados. A partir de 2012, baseando-se nos moldes do controle europeu EURO V, o PROCONVE iniciou a fase P7 e estabeleceu o limite de emissão de 2,0 g/km de NOx para os veículos pesados em território nacional, sendo esse o limite vigente na atualidade (MELO et al, 2015).

4 TÉCNICAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE NOx

Para atender aos limites estabelecidos pela legislação brasileira, os fabricantes de veículos utilizam tecnologias que buscam agir na redução da emissão de poluentes, principalmente os NOx. As duas mais utilizadas atuam em diferentes aspectos do processo de combustão, um na redução da temperatura da câmara de combustão dos motores, conhecido como Sistema de Recirculação do Gás de Exaustão (EGR) e o outro no tratamento direto dos gases de exaustão, chamado de Sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR) (MANIENIYAN et al, 2021).

4.1 Sistema de recirculação do gás de exaustão (EGR)

O sistema EGR utiliza como mecanismo a recirculação de parte dos gases de exaustão para a câmara de combustão, o que diminui a temperatura e a concentração de oxigênio na região de queima do combustível, que são importantes fatores na geração dos óxidos de nitrogênio, principalmente o NOx térmico. A taxa de reciclo fica em torno de 5 a 15% dos gases de exaustão, limitando-se a um valor máximo para que não influencie negativamente a mistura entre ar e combustível necessário para que ocorra o funcionamento contínuo do motor e com combustão completa (WANG et al., 2017).

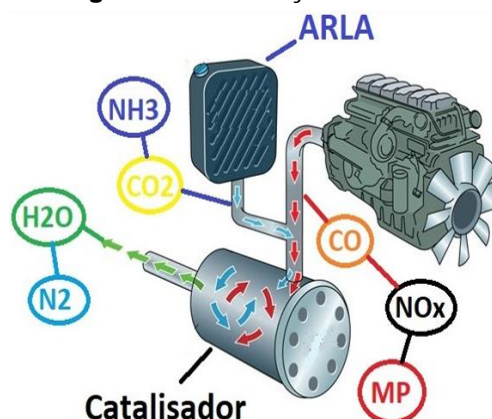
Apesar da tecnologia EGR atender aos limites legais de emissões de NOx,

permitindo que os motores a diesel funcionem sem falhas e queimando completamente o combustível, a redução de temperatura na combustão que ela proporciona acaba por reduzir a energia extraída dos pistões e conseqüentemente a eficiência do motor, motivo pelo qual não é utilizada em veículos que trabalhem em regime constante e intenso (TSOLAKIS; MEGARITIS; WYSZYNSKI, 2003).

4.2 Sistema de redução catalítica seletiva (SCR)

O sistema SCR atua diretamente no gás de exaustão dos motores antes que ele seja liberado na atmosfera fazendo uso da amônia como agente redutor, que em contato com um catalisador converte os NOx em água e nitrogênio. A ação seletiva do catalisador, geralmente confeccionado em paládio ou platina, faz com que a amônia reaja preferencialmente com os óxidos de nitrogênio presentes na corrente gasosa, e, desta forma, reduzindo a quantidade necessária de agente redutor para o funcionamento correto do sistema. A principal vantagem do sistema SCR sobre o EGR está no fato dele tratar o gás de exaustão sem recirculação para a câmara de combustão, o que elimina a perda de eficiência apresentada no outro modelo (KELLER, 2021).

Figura 1. Representação esquemática de um sistema de pós-tratamento tipo SCR agindo com a adição do ARLA 32.



Fonte: Extraído de Chiptronic, 2023.

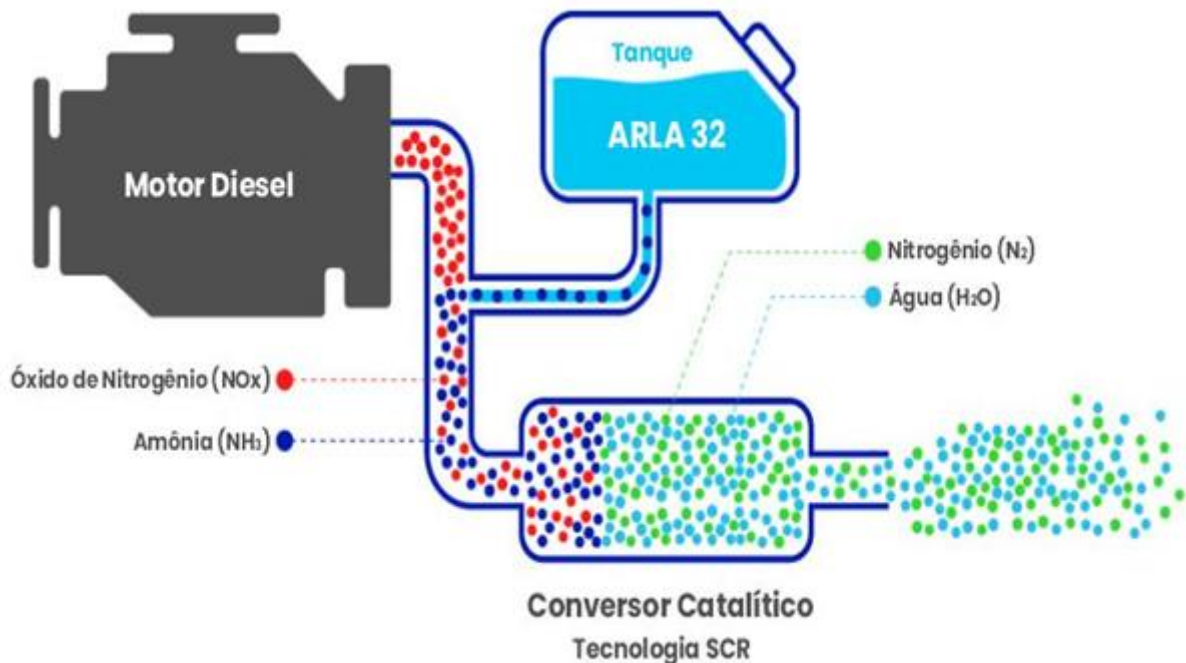
Para a formação da amônia necessária ao mecanismo de reação utiliza-se uma solução de 32,5% de ureia injetada após o catalisador de oxidação e antes do catalisador SCR, onde é hidrolisada. Essa substância de alta pureza inserida ao sistema é o Agente Redutor Líquido Automotivo (ARLA 32), conforme Figura 1 (BALDISSERA et al., 2012).

5 AGENTE REDUTOR LÍQUIDO AUTOMOTIVO (ARLA 32)

ARLA 32 é o nome dado a um agente redutor essencial que reduz a emissão de poluentes, transformando os tóxicos óxidos de nitrogênio em

materiais não-nocivos, como nitrogênio e água, sua ação pode ser observada na figura 2. ARLA é uma abreviatura para Agente Redutor Líquido Automotivo e o 32 se refere à concentração de ureia dentro da solução de água desmineralizada presente no tanque – para cada 100 g de água, há 32,5 g de ureia (32,5%). A ureia é a substância responsável por gerar a reação química para quebrar os óxidos de nitrogênio. Esse agente consegue evitar até 98% das emissões de óxido de nitrogênio para a atmosfera, pois além de poluente, esse óxido também é nocivo à saúde e responsável por diversas doenças respiratórias (RAMOS, 2020).

Figura 2. Ação do ARLA 32 quando aplicado no sistema.



Fonte: Extraído de Merkato, 2023

Visando atender os limites de emissão estabelecidos pelas normas vigentes, as montadoras tiveram que buscar novas tecnologias de controle de emissão para seus motores. O ARLA 32 é uma solução que demanda alta pureza de suas matérias-primas para que não ocorra danos no equipamento onde é utilizado. Desta forma, devemos ter o padrão de qualidade necessário para o funcionamento sem falhas e/ou quebras do

sistema SCR. Os produtores de ARLA 32 devem buscar atender os padrões de qualidade listados na ISO 22241:2011 - motores diesel – agente redutor líquido de NO_x automotivo – ARLA32 (BAIA et al., 2020).

A simplicidade do ARLA 32 pode levar os usuários a diversos equívocos, pois embora seja um produto que exige determinado grau de pureza para o seu correto funcionamento e dos motores em

que ele é utilizado, é possível prepará-lo com relativa facilidade, sem garantias de que foram seguidos os devidos padrões de qualidade, o que pode resultar em uma solução que contém impurezas e que esteja fora das especificações necessárias. Tais impurezas na composição do ARLA 32 podem causar entupimentos no sistema de injeção e no catalisador SCR, sendo esse último exposto ao risco de contaminação e inativação, o que pode levar a uma falha total do mecanismo de conversão dos óxidos de nitrogênio, elevando os níveis de emissão de poluentes para valores além do permitido pela legislação (KELLER, 2021).

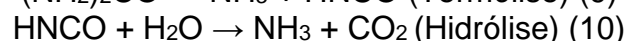
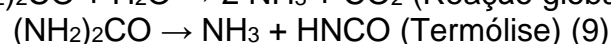
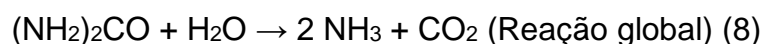
No Brasil, deve-se dar preferência aos laboratórios que atendam à ABNT NBR ISO/IEC 17025 (Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração) e tenham selo de qualidade do INMETRO que comprova a capacidade do laboratório de atender altos padrões de qualidade para realização de ensaios e de gestão, para desta forma garantir a confiabilidade dos resultados obtidos, e assim poderem comercializar produtos de boa qualidade e devidamente conferidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) por meio de instrução normativa de 11 de julho de 2009 (BAIA et al., 2020).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Comissão de Estudo de Emissões em Veículos Pesados do Comitê Brasileiro Automotivo, divulgou em 2011, a norma ABNT NBR ISO 22241 que estabelece as especificações e diretrizes necessárias para o ARLA 32, nos âmbitos de requisitos de qualidade, métodos de ensaio para

verificação da qualidade, manuseio, transporte, armazenamento e interface de reabastecimento (ABNT, 2011).

5.1 Reações envolvidas

Todo o processo de eliminação do NO_x começa com a injeção controlada da solução do ARLA no circuito de exaustão dos gases do motor, logo após um primeiro catalisador oxidante já existente no sistema. Esse primeiro catalisador atua principalmente sobre os radicais de hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado, oriundos da câmara de combustão do motor, realizando a sua oxidação em substâncias menos agressivas, como o dióxido de carbono. Entretanto, mais relevante para a eficácia do ARLA é a conversão de NO em NO₂, visto que a conversão desse último em nitrogênio gasoso é mais favorável, além de gerar um pouco mais de calor nesse processo e elevar ainda mais a temperatura dos gases de exaustão que irá contribuir com as conversões realizadas pelo ARLA. A temperatura dos gases na região de injeção do agente redutor, entre 170-200 °C, causa a vaporização da água presente na solução, que acaba por facilitar as reações de decomposição da ureia em amônia e gás carbônico, conforme equação 8, que se dá tanto por termólise, equação 9, causada pelas altas temperaturas presentes, como por hidrólise, equação 10, causada pela ação das moléculas de água juntamente com a temperatura elevada. A decomposição da ureia ocorre na seção seguinte ao ponto de injeção do ARLA, a câmara de hidrólise (MANAVELLA, 2019).



A amônia formada segue com a corrente gasosa para o catalisador do sistema SCR onde reagirá com os

óxidos de nitrogênio causando a redução dos mesmos à nitrogênio gasoso, gerando mais água no processo conforme

ilustrado na equação 11. E por fim, a amônia residual é oxidada em um último catalisador oxidante para evitar sua

liberação na atmosfera, conforme processo ilustrado na Figura 3 (MANAVELLA, 2019).

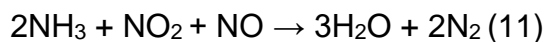
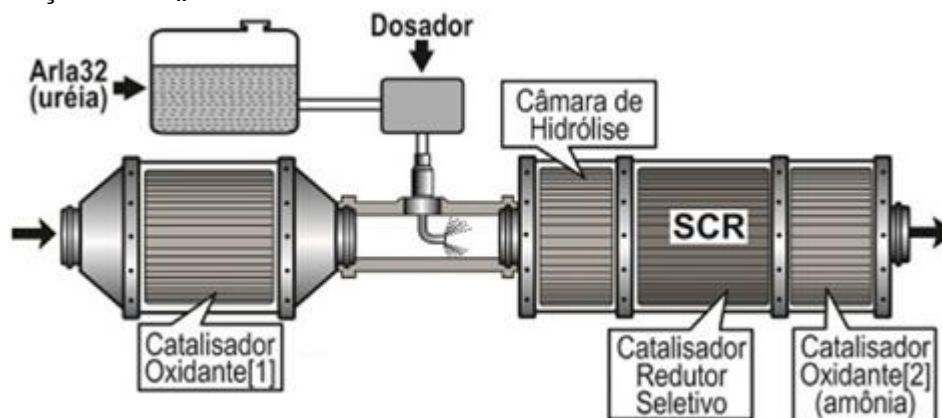


Figura 3. Representação esquemática de um sistema do processo de eliminação do NO_x.



Fonte: Adaptado de Manavella, 2019.

5.2 Funcionamento de um sistema SCR

Todo o processo de injeção do agente redutor e monitoramento do NO_x emitido é controlado, com o auxílio de diversos sensores e dispositivos de atuação, por um módulo eletrônico dedicado que atua como cérebro do sistema. Um sensor de temperatura antes do ponto de injeção do ARLA monitora e permite controlar a temperatura dos gases na faixa ideal para uma maior redução dos óxidos ao chegarem no catalisador SCR, enquanto um segundo sensor de temperatura pós conversão, avalia o desempenho da mesma. Enquanto dois sensores de NO_x, um antes da injeção do agente redutor e outro após o catalisador seletivo, avaliam os níveis presentes dos gases poluentes para ajustar corretamente a dosagem de ARLA a fim de se obter, principalmente, uma conversão otimizada e um residual mínimo de amônia ao fim do processo. Adicionalmente, um sensor de amônia instalado antes do último catalisador oxidante monitora o quanto bem otimizado está o processo e permite ajustes finos no sistema de injeção, obtendo concentrações inferiores a

10 ppm de amoníaco sem comprometer a eliminação dos NO_x (MANAVELLA, 2019).

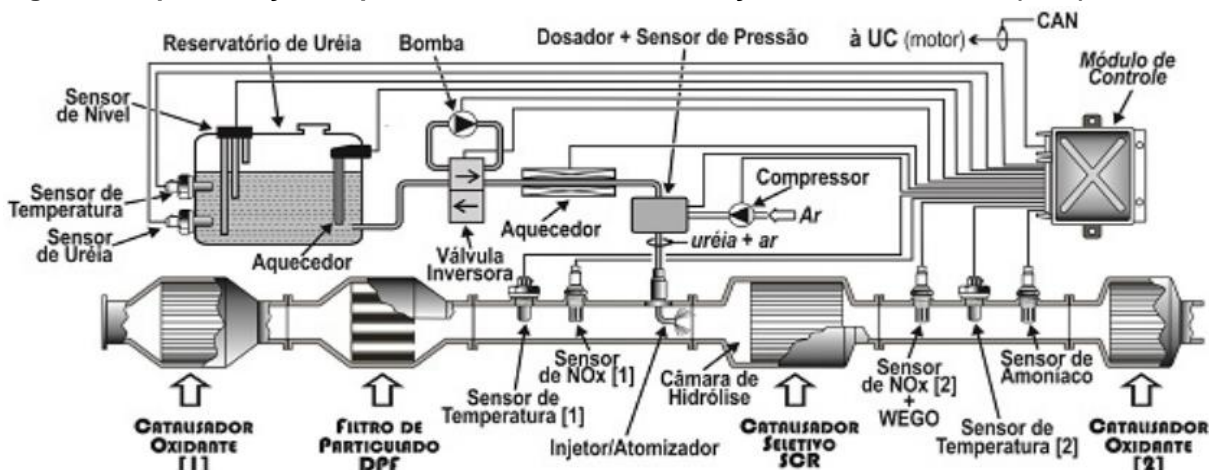
O sistema de injeção consiste inicialmente de um tanque, para armazenagem do agente redutor, com sensores de temperatura, de nível, aquecedor e em alguns casos, um sensor de ureia para monitorar a qualidade da solução. Em seguida, uma bomba envia o líquido para o dosador passando através de uma válvula inversora e um segundo aquecedor, sendo que a válvula tem a função de retornar com a solução de volta para o tanque com o objetivo de impedir que ela cristalice caso o motor do veículo não esteja em funcionamento. Por fim, o dosador, munido de um sensor de pressão, adiciona a quantidade de ARLA solicitada pelo módulo de controle. Alguns dosadores utilizam ar comprimido proveniente de um compressor para auxiliar na dosagem, necessitando nesses casos de uma válvula controladora de injeção, entretanto, quando não utilizam tal recurso um simples injetor é o suficiente para atender ao sistema (MANAVELLA, 2019).

O módulo de controle é o

dispositivo responsável por gerenciar todas as informações obtidas pelos sensores e realizar os ajustes necessários para que o SCR cumpra seu objetivo, além de trabalhar em conjunto com a unidade de controle de combustão do motor, enviando e recebendo dados através de redes de comunicação para que ambos os sistemas operem de

forma adequada, queimando o combustível da maneira mais eficiente possível, com maior geração de potência para o veículo e menor emissão de poluentes, principalmente os nocivos óxidos de nitrogênio. Na Figura 4 é mostrado o esquema de funcionamento do sistema de redução catalítica seletiva (SCR). (MANAVELLA, 2019).

Figura 4. Representação esquemática do sistema de redução catalítica seletiva (SCR).



Fonte: Extraído de Manavella, 2019.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas ações foram tomadas nas últimas décadas para amenizar os impactos que a queima dos combustíveis fósseis gera, como o uso de catalisadores, melhoria nos processos de combustão, ajustes na composição dos combustíveis dentre outros. Com foco nas ações voltadas ao consumo do óleo diesel por veículos automotores, desenvolveu-se um composto chamado ARLA 32 que age nos gases de escape dos automóveis convertendo os óxidos de nitrogênio em água e nitrogênio gasoso.

Atingir os estritos limites legais para emissões de gases poluentes em veículos movidos a diesel é uma tarefa que exige uma combinação cuidadosa entre projeto e calibração de motor, juntamente com projeto e calibração do sistema de pós-tratamento. Os sistemas projetados precisam garantir não somente que os níveis de emissões de

gases poluentes sejam baixos no momento da certificação do veículo, mas também que o impacto nas emissões desses gases seja o menor possível quando determinados parâmetros do sistema variam ao longo do tempo.

O uso dos combustíveis fósseis é e ainda será por um longo período, uma das principais fontes de energia para a sociedade, ao menos até que as fontes renováveis se tornem viáveis, técnica e economicamente, o suficiente para substituí-los. A queima destes combustíveis fornece eletricidade, aquecimento e força motriz para os meios de transporte de toda a sociedade. Como consequência, tem-se o lançamento de enormes quantidades de gases, resultantes da combustão na atmosfera. Esses gases que contribuem para o aquecimento global, como o gás carbônico, e que degradam a atmosfera e o meio ambiente de forma mais rápida e direta, como o monóxido de carbono e os óxidos de

nitrogênio e de enxofre.

O ARLA 32 é uma solução ideal para desacelerar esses impactos gerados pelos motores a diesel, pois transforma a emissão de óxidos de nitrogênio em elementos não prejudiciais ao meio. Porém, a ureia na sua forma industrializada tem como matérias primas a amônia e o gás carbônico, ambos provenientes em sua enorme maioria de fontes não renováveis como o gás natural. Logo o ARLA-32 atua para resolver um passivo ambiental no final da cadeia de consumo de um combustível, mas se utiliza do mesmo passivo ambiental no seu processo de fabricação.

Existem processos consolidados e muito promissores para um ciclo sustentável, sintetizando as matérias primas necessárias para a produção de ureia, através da amônia e do gás carbônico de forma defensável. O gás carbônico pode ser obtido pela queima controlada de biomassa e seus derivados, como bio-óleos e ainda pode-se obter como subproduto, a eletricidade, se a queima for em uma caldeira conectada a um gerador a turbina. Enquanto a amônia pode ser oriunda do nitrogênio gasoso da atmosfera combinado com hidrogênio obtido de fontes renováveis, como a eletrólise da água utilizada na produção de “hidrogênio verde”. Ao se combinar essas cadeias de produção, o ARLA 32 cumprirá de forma integral o seu papel no combate aos danos que os combustíveis fósseis causam na atmosfera e nos seres vivos, pois combinando tecnologia com química podemos avançar o campo de pesquisa visando extinguir um mal que vem nos atingindo desde a revolução industrial e assim conseguir alternativas sustentáveis para desacelerar o aquecimento do planeta.

REFERÊNCIAS

ABREU, R. A. M. et al. DIESEL – O GRANDE VILÃO: Uma análise técnico-operacional do consumo de diesel dos

veículos de sistemas rodoviários e ferroviários. Curitiba: [s.n.], 2018.

BAIA, L. et al. Adsorption as alternative process in the preliminary production of automotive additive. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, v. 26, n. 3, p. 215-226, 2020.

BALDISSERA, F. L. et al. Aplicação de backstepping para controle de óxidos de nitrogênio em veículos diesel. *Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica*, v. 23, n. 3, p. 374-385, jun. 2012.

CHIPTRONIC. Sistema de pós-tratamento SCR para motores ciclo Diesel. 2023. Disponível em: <<https://chiptronic.com.br/blog/pos-tratamento-scr>>. Acesso em: 03 dez. 2023.

CNT. Confederação nacional do Transporte. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 16 out. 2023.

KELLER, V. G. L. ARLA 32 Otimização do Processo de Análise de Qualidade em um Laboratório. Niterói -2021.

MANAVELLA, H. J. Catalisador redutor seletivo - SCR é um catalisador de NOx no tratamento de gases Diesel. 2019. Disponível em: <<https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/catalisador-redutor-seletivo-scr-e-um-catalisador-de-nox-no-tratamento-de-gases-diesel>>. Acesso em: 17 out. 2023.

MANIENIYAN, V. et al. Effect of EGR (exhaust gas recirculation) in diesel engine with multi-walled carbon nanotubes and vegetable oil refinery waste as biodiesel. *Fuel*, v. 288, p. 119689, mar. 2021.

MELO, T. C. C. de et al. Efeito da qualidade da solução de ARLA 32 na eficiência do SCR, nas emissões de NOx e no sistema de injeção de ARLA. *Anais do*

XXIII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, p. 399-417, set. 2015.

MERKATO, C. Porque é importante usar ARLA 32 em veículos Diesel. 2023. Disponível em: <<https://www.merkatoconsult.com.br/por-que-e-importante-usar-arla-32-em-veiculos-diesel/>>. Acesso em: 30 nov. 2023.

RAMOS, L. O que é ARLA e Qual Sua Importância Para Veículos. Cobli Centro de Tecnologia e Gestão de Frotas. 2020. Disponível em: <<https://www.cobli.co/blog/o-que-e-arla-32/>>. Acesso em: 27 ago. 2023.

TSOLAKIS, A.; MEGARITIS, A.; WYSZYNSKI, M. L. Application of

Exhaust Gas Fuel Reforming in Compression Ignition Engines Fueled by Diesel and Biodiesel Fuel Mixtures. Energy & Fuels, v. 17, n. 6, p. 1464-1473, nov. 2003.

WANG, Z. et al. Research of NOx reduction on a low-speed two-stroke marine diesel engine by using EGR (exhaust gas recirculation)–CB (cylinder bypass) and EGB (exhaust gas bypass). International Journal of Hydrogen Energy, v. 42, n. 30, p. 19337-19345, jul. 2017.

ZHENG, M.; READER, G. T.; HAWLEY, J. G. Diesel engine exhaust gas recirculation – a review on advanced and novel concepts. Energy Conversion and Management, v. 45, n. 6, p. 883-900, abr. 2004.