

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA  
FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA – FACEG  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

VINÍCIUS PESSOA AGUILERA ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DA POTENCIALIZAÇÃO DE AGENTES CONTAMINANTES EM  
MOTORES DE COLHEDORAS COM VÁLVULA DE RECIRCULAÇÃO DOS  
GASES DE ESCAPE**

GOIANÉSIA

2022

VINÍCIUS PESSOA AGUILERA ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DA POTENCIALIZAÇÃO DE AGENTES CONTAMINANTES EM  
MOTORES DE COLHEDORAS COM VÁLVULA DE RECIRCULAÇÃO DOS  
GASES DE ESCAPE**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica.

GOIANÉSIA

2022

## FICHA CATALOGRÁFICA

F333s

Araújo, Vinicius Pessoa Aguilera  
avaliação da potencialização de agentes contaminantes em motores de colhedoras com válvula de recirculação dos gases de escape/ Vinicius Pessoa Aguilera Araújo – Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia – Faceg, 2022.  
49 p.; il. p&b.

Orientador: Profa. Dra. Lauriane Gomes Santin.

Monografia de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia: FACEG, 2022.

1. Motor Diesel. 2. Meio Ambiente 3. Válvula EGR

I. Araújo, Vinicius Pessoa Aguilera. II avaliação da potencialização de agentes contaminantes em motores de colhedoras com válvula de recirculação dos gases de escape.

CDU 621

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Araújo, V.P.A. **Avaliação da potencialização de agentes contaminantes em motores de colhedoras com válvula de recirculação dos gases de escape.** Trabalho de conclusão Curso (Graduação em Engenharia mecânica) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2022.

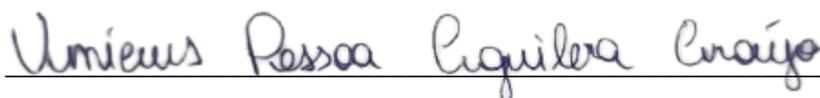
## CESSÃO DE DIREITOS

NOME: Vinicius Pessoa Aguilera Araújo

GRAU: Bacharel

ANO: 2022

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Graduação, única e exclusivamente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.



Nome: Vinicius Pessoa Aguilera Araújo

CPF: 056.164.641-47

Endereço: Bairro Boa vista

E-mail: [Vinipess16@gmail.com](mailto:Vinipess16@gmail.com)

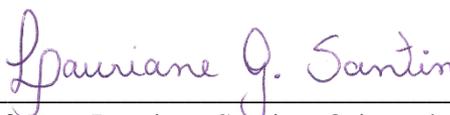
Vinicius Pessoa Aguilera Araújo

**AVALIAÇÃO DA POTENCIALIZAÇÃO DE AGENTES CONTAMINANTES EM  
MOTORES DE COLHEDORAS COM VÁLVULA DE RECIRCULAÇÃO DOS  
GASES DE ESCAPE**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica.

Goianésia, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2022.

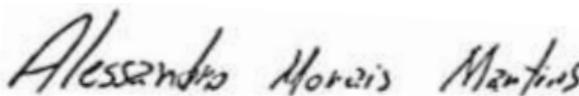
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dra. Lauriane Santin - Orientadora  
Faculdade Evangélica de Goianésia



Prof. Me. Ivandro José de Freitas Rocha - Avaliador  
Faculdade Evangélica de Goianésia



Prof. Me. Alessandro Morais Martins - Avaliador  
Faculdade Evangélica de Goianésia

*“Carry on, my wayward son  
There'll be peace when you are done  
Lay your weary head to rest  
Don't you cry no more”*

*Kansas*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pela minha vida, por me permitir superar todas minhas limitações e dificuldades, para encontrar ao final de todo o trabalho a realização de uma graduação.

Agradecer a todos meus amigos que me apoiaram, em especial minha namorada Welida Ribeiro Guedes, um anjo que Deus colocou na minha vida para ser meu alicerce nessa fase tão delicada. Sem ela acredito que não chegaria aonde cheguei, obrigado meu amor.

A todos os meus familiares, em especial aos meus pais Elion Alves de oliveira, Ângela Maria Pessoa e Rosângela Maria Pessoa (Sim eu tenho duas mães), as minhas irmãs Mariany Pessoa e Sophia Pessoa, que contribuíram para esse momento com todas as mensagens positivas, sempre me incentivando e apoiando a conquistar esse título tão sonhado de engenheiro.

Aos professores, por todo o conhecimento compartilhado, pelas lições e correções que me permitiram evoluir e melhorar meu desempenho no processo de formação profissional ao longo de todo o curso.

Agradeço aos meus colegas de curso, com que convivi por todos esses anos de forma intensa, pelo companheirismo, amizade e experiência que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando, a todos meu muito obrigado.

E por último a todos os meus amigos de empresa (Em todas elas), cada um de vocês contribuíram de forma positiva e negativa para meu crescimento profissional. Em especial a empresa Jalles Machado, pelo fornecimento dos dados e matérias que foram fundamentais para o desenvolvimento da minha pesquisa, possibilitando a realização deste trabalho.

A todos aqueles, mesmo que por pouco tempo que tenham me ajudado, sem as experiências, conversas, convívio teria sido bem mais difícil encarar tudo isso, agradeço a Deus pela vida de cada um, Obrigado.

## RESUMO

Devido às exigências para redução da poluição ambiental e o aumento da produção de forma sustentável, o setor sucroenergético vem adotando novas tecnologias para reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera. Um dos dispositivos de alto perfil neste campo é a válvula *Exhaust Gas Recirculation* (EGR). A válvula realiza a recirculação dos gases de escape em motores de ciclo diesel, reduzindo a emissão ao meio ambiente, mas a recirculação desses gases promove uma maior entrada de particulados ao sistema. Seu uso entra em vigor sob o regulamento EURO V e foi introduzido no Brasil pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente. O presente estudo de caso possui dados comparativo quantitativo dos elementos de desgaste e contaminantes em motores de colhedoras de cana-de-açúcar CH 570, que possuem e não possuem a válvula EGR, identificados por meio de dados preditivos de análise de óleo. Os dados confirmam a potencialização dos elementos para colhedoras que possuem a válvula EGR em 80,39% do total de análises, sinalizadas como críticas em sua condição. Mas, contrário aos status críticos, o desgaste normal das análises é maior para os ativos que não possuem a válvula, sendo elas responsáveis por 74,03% dos status normais de desgaste. Os valores normais de desgaste são positivos para a máquina, mas extremamente agressivos ao meio ambiente, o que faz com que essas máquinas estejam longe de atuar conforme as solicitações dos órgãos regentes. Os números levantados sinalizam a potencialização no processo, e uma das peças-chave para essa diferença discrepante de resultados a princípio foi a utilização da válvula EGR. Entretanto, se as recomendações do fabricante a respeito da manutenção não forem atendidas dentro do prazo esperado, não é possível afirmar que a presença da válvula EGR para a recirculação de ar reduz o tempo de vida do motor.

Palavras-chaves: EGR.Meio Ambiente.Análises de óleo.

## ABSTRACT

Given the requirements to reduce environmental pollution and increase production in a sustainable way, the sugar-energy sector has been adopting new technologies to reduce the emission of polluting gases into the atmosphere. One of the high profile devices in this field is the EGR valve (Exhaust Gas Recirculation) in which the valve performs the recirculation of exhaust gases in diesel cycle engines, reducing the emission to the environment, but the recirculation of these gases promotes greater entry of particulates into the system. Its use comes into force under the EURO V regulation and was introduced in Brazil by the National Council for the Environment (CONAMA). The present case study has quantitative comparative data of wear elements and contaminants in CH 570 harvester engines, which have and do not have the EGR valve, identified through predictive oil analysis data. The data confirm the potentiation of the elements for harvesters that have the EGR valve in 80.39% of the total analyses, flagged as critical in their condition. But contrary to the critical statuses, the normal wear of the analyzes is greater for the assets that do not have the valve, being responsible for 74.03% of the normal wear status in their condition. Normal wear values are positive for the machine, but extremely aggressive to the environment, which means that these machines are far from performing as required by the governing bodies. The numbers raised indicate the potentialization of the process, and one of the key pieces for this discrepant difference in results at first was the use of the EGR valve. However, if the manufacturer's recommendations regarding maintenance are not met within the expected period, it is not possible to say that the presence of the EGR valve for air recirculation reduces the life of the engine.

Key words: EGR. Environment. Oil analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Operação dos motores de ciclo quatro tempos .....	6
Figura 2 - Motor Jonh Deere Tier III – 9.0 L PowerTech™ .....	7
Figura 3 - Sistema de recirculação dos gases de escape.....	9

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da manutenção corretiva .....	17
Tabela 2 - Resumo dos dados avaliado no estudo de caso .....	18
Tabela 3 - Frotas escolhidas para o estudo comparativo .....	20
Tabela 4 - Parâmetros ppm e origem dos elementos desgaste e contaminação .....	23
Tabela 5 - Interpretação das análises críticas .....	28
Tabela 6 - Interpretação das análises monitoradas .....	29
Tabela 7 - Interpretação das análises normais .....	29

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantitativo das análises COM e SEM (EGR).....	21
Gráfico 2 - Porcentagem dos status das análises para os motores com e sem válvula EGR....	22
Gráfico 4 - Quantitativo Comparativo dos elementos de Ferro (Fe). A linha azul representa as colhedoras que possuem a válvula EGR e a linha laranja as que não possuem. ....	24
Gráfico 5 - Quantitativo Comparativo dos elementos de Cobre (Cu). A linha azul representa as colhedoras que possuem a válvula EGR e a linha laranja as que não possuem.....	25
Gráfico 6 - Quantitativo Comparativo dos elementos de Cromo (Cr). A linha azul representa as colhedoras que possuem a válvula EGR e a linha laranja as que não possuem.....	26
Gráfico 7 - Quantitativo Comparativo dos elementos de Alumínio (Al). A linha azul representa as colhedoras que possuem a válvula EGR e a linha laranja as que não possuem. ....	26
Gráfico 8 - Quantitativo Comparativo dos elementos Silício (Si). A linha azul representa as colhedoras que possuem a válvula EGR e a linha laranja as que não possuem. ....	27
Gráfico 9 - Ordens de Serviço realizadas referentes as análises de óleo 2019 - 2020 .....	30
Gráfico 10 - Ordens de Serviço realizadas referentes as análises de óleo 2021.....	31
Gráfico 11 - Tempo de vida útil média dos motores comparado ao tempo de vida estimado pelo fabricante. ....	32
Gráfico 12 - Tabela de falhas do EGR .....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
C	Carbono
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho nacional do meio ambiente
ECU	Unidade de controle eletrônico (do inglês <i>Electronic Control Unit</i> )
EGR	Recirculador de gases de escape (do inglês <i>Exhaust Gas Recirculation</i> )
H	Hidrogênio
HC	Hidrocarbonetos
N <sub>2</sub> O	Monóxido de Nitrogênio
NO	Óxido de Nitrogênio
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrogênio
NO <sub>x</sub>	Óxido de Nitrogênio
PMI	Ponto morto inferior
PMS	Ponto morto superior
PPM	Partes por milhão
SCR	Redução catalítica seletiva (do inglês <i>Selective Catalytic Reduction</i> )
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
V <sub>c</sub>	Volume mínimo dentro do cilindro
VGT	Turbocompressor de Geometria Variável (do inglês <i>Variable-Geometry Turbochargers</i> )
V <sub>máx</sub>	Volume máximo dentro do cilindro

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 Justificativa.....	2
1.4 Questão Problema.....	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Motores de Combustão Interna .....	4
2.2 Classificação de Tier dos motores .....	6
2.3 Componentes das tecnologias tier III .....	7
2.3.1 Turbocompressor VGT.....	8
2.3.2 Unidade ECU.....	8
2.3.3 Válvula EGR .....	9
2.4 Gases de Exaustão .....	10
2.4.1 Gases de Exaustão não poluentes .....	10
2.4.2 Gases de Exaustão poluentes .....	10
2.5 Combustível e Óleo lubrificante.....	12
2.5.1 Diesel S10 e S500.....	12
2.5.2 Óleo lubrificante .....	13
2.6 Manutenções aplicadas a oficina .....	14
2.6.1 Preditiva.....	15
2.6.2 Preventiva .....	15
2.6.3 Corretiva .....	15
3 METODOLOGIA.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
4.1 Definindo Frotas .....	20
4.2 Banco de Dados .....	21
4.3 Parâmetros de Análises.....	22
4.4 Quantitativo Comparativo .....	23
4.5 Limitações da manutenção .....	27
4.6 SAC e O.S .....	30
4.7 Vida útil dos motores.....	32
5 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	35

## 1 INTRODUÇÃO

Em função da alta demanda por uma produção menos poluente e mais sustentável, os setores sucroenergético vem adaptando novas tecnologias para diminuir a emissão de gases poluentes na atmosfera. Um dos dispositivos que têm ganhado destaque nesse setor é a válvula EGR (do inglês *Exhaust Gas Recirculation*). Ela é uma válvula responsável por realizar a recirculação dos gases de escape, diminuindo assim a emissão de gases poluentes ao meio ambiente (ZHENG *et al.*, 2004).

Segundo Khair (2014) as primeiras pesquisas envolvendo o sistema EGR se iniciaram em veículos automotores já na década de quarenta, com o objetivo de reduzir a emissão de NOx (Óxido de Nitrogênio). Assim o sistema EGR teve seu marco inicial na década de 1970, aplicado em automóveis de passeio americanos. Após algumas décadas foi avaliado seu desempenho para os motores a diesel, assim foi incluído aos motores em meados dos anos 2000 (HAWLEY, 1999).

Com a eficácia do dispositivo, visto que sua aplicação tem impactos positivos para o meio ambiente, sua montagem se tornava obrigatória para os motores a diesel. A utilização do EGR se tornou vigente pelas normas da EURO V e introduzidas no Brasil pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Na lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, e pelo art. 2º, 9º, e art. 3º da Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993 constitui que a emissão de veículos automotores contribui com a deterioração ambiental (CONAMA, 1981).

A função da válvula EGR é dosar a quantidade de gases de combustão, tendo seu funcionamento realizado de forma pneumática e em geral elétrica (MENDES, 2020). Todavia, a utilização do EGR não é feita em todo funcionamento nominal do motor, apenas em cargas parciais sem grandes exigências. Nas válvulas mais modernas a forma no qual se tem informações sobre quando ejetar os gases se dá por parte dos sensores, eles colhem os dados sobre temperatura do óleo, fluido refrigerante, pressão e admissão (CARDOSO, 2021).

Apesar de sua função ser importante para o pleno desempenho do motor, observa-se que a recirculação dos gases pela válvula EGR potencializa as partículas de desgaste em motores com a mistura dos gases de emissão com o fluido lubrificante. O presente trabalho pretende mostrar os elementos de desgaste mais presentes em motores de colhedoras de cana de açúcar CH 570.

## 1.1 Objetivos

Por meio de dados preditivos, analisar os elementos de desgaste mais presentes nos motores de colhedoras CH 570, potencializados pela válvula EGR e avaliar se o tempo de vida do motor é afetado pela utilização dessa válvula.

## 1.2 Objetivos específicos

- Identificar os possíveis elementos de contaminação e as causas que podem corroborar com a contaminação dos motores TIER 3 de colhedoras modelo CH 570.
- Quantificar por meio de dados preditivos os elementos contaminantes mais presentes nas análises de óleo e o impacto gerado na vida útil dos motores.
- Realizar um comparativo dos dados de colhedoras que possuem e não possuem o sistema de EGR, buscando a porcentagem da contaminação gerada pela utilização da válvula.
- Verificar se, de fato, a utilização da válvula EGR em motores é a única variável responsável pela diminuição da vida útil desses motores.

## 1.3 Justificativa

Este trabalho tem como fundamento compreender o impacto ambiental da não utilização do dispositivo e os custos de manutenção dos ativos, pois as colhedoras que possuem o dispositivo, contemplam maior valor de manutenção e menor expectativa de vida útil. Como parte do sistema de admissão, o EGR exerce a função de recircular os gases de exaustão, resfriando o motor e possibilitando que uma menor massa de poluentes seja liberada ao meio ambiente (RADICCHI, 2018).

Em contrapartida acredita-se que o dispositivo potencialize a entrada de elementos desgastantes ao motor. Desta forma, se os números em PPM (Partes Por Milhões) forem elevados, podem intensificar a formação de partículas de fuligem as quais contaminam os óleos lubrificantes inviabilizando a devida lubrificação. Assim, a utilização do EGR pode impactar drasticamente nas condições de viscosidade e consequentemente intensifica o desgaste dos componentes do motor (MURARO, 2016).

Mas o EGR é uma das alternativas que se tem no mercado para a redução dos gases poluentes. A outra opção seria do sistema de SCR (Sistema Redutor Catalítico Seletivo), que utiliza do reagente ARLA 32 para redução dos gases poluentes (MENEZES, 2009). Ambos os dispositivos atendem de forma efetiva as leis ambientais, ficando a escolha da empresa responsável a montagem do componente mais eficiente ao seu projeto.

Desta forma, considera-se a prescrição da Lei 8.723 de outubro de 1993, no art.1º (Brasil, 1993) decreta que: “ Como parte integrante da Política Nacional de Meio Ambiente, os fabricantes de motores e veículos automotores e os fabricantes de combustíveis ficam obrigados a tomar as providências necessárias para reduzir os níveis de emissão de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, fuligem, material particulado e outros compostos poluentes nos veículos comercializados no País, enquadrando-se aos limites fixados nesta lei e respeitando, ainda, os prazos nela estabelecidos.”.

#### **1.4 Questão Problema**

Durante a safra que ocorreu nas empresas sucroalcooleiras/sucroenergéticas do município de Goianésia-GO, através de dados preditivos de óleo, pode-se observar uma crescente no quadro dos elementos de desgaste para diferentes modelos de colhedora de cana. Com os dados de ambas as empresas do grupo, observou-se que através dos custos de reparo e análises de óleo, que os ativos mais novos estavam com maiores custos de manutenção. Uma pesquisa então feita por uma consultoria, trouxe a ideia de analisar os ativos que possuíam as válvulas EGR, visto que em outras empresas já ocorria os mesmos problemas devido a este dispositivo.

Foram levantados dados preditivos (Análise de óleo), para analisar os valores de PPM de elementos de desgaste e contaminação contidos especificamente no óleo de motor. O intuito do estudo é quantificar os elementos nas colhedoras que possuem e não possuem o EGR, e se sua utilização realmente pode comprometer a vida útil do motor, corroborando com os aumentos nos custos de manutenção.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A primeira parte deste trabalho, terá fundamentos básicos necessários para a compreensão do estudo da válvula. De forma resumida será apresentado os tipos de motores que foram estudados, apresentando as principais diferenças entre os dois modelos. E a forma em que a válvula EGR atua no sistema, qual sua importância para a ciclo do motor, e sua degradação que pode ocorrer caso as manutenções não sejam realizadas.

### 2.1 Motores de Combustão Interna

Desde sua criação em meados do século XIX pelo engenheiro mecânico franco alemão Rudolf Diesel, a tecnologia dos motores diesel foi constantemente renovada para atender as demandas ao longo dos séculos. Visto que nos tempos atuais, as questões ambientais se fazem necessárias novas tecnologias que tratem algumas adversidades, algo não específico para as máquinas agrícolas, mas também a todos os outros veículos pesados e automotores (MEDEIROS, *et.al* 2018).

Os motores de combustão interna são máquinas térmicas que convertem a energia liberada pela queima dos gases e combustíveis em trabalho mecânico. O critério referente aos modos de combustão dos motores, permite distinguir entre dois tipos principais de motores utilizados atualmente, os motores de ignição por centelha e os motores de ignição por compressão (RADICCHI, 2018).

Nos motores denominados de ciclo Otto, por razões históricas, uma mistura ar e combustível se queima quando a centelha provocada pela vela de ignição é liberada, sendo ela uma combustão muito rápida. Para os motores de ciclo Diesel, utilizam a ignição por compressão, onde o combustível é pulverizado junto ao ar quente sendo comprimidos, de modo que se crie uma autoignição dando origem a uma combustão lenta e gradual à pressão constante (FERRARI, 2016).

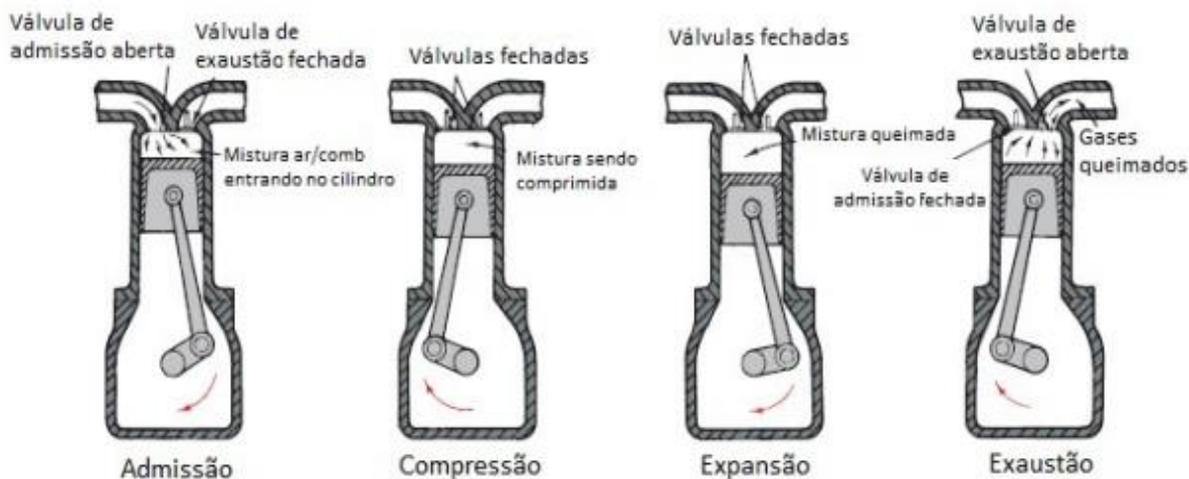
Nos motores de quatro tempos, principalmente nos de ciclo Otto, tem-se o tempo denominado exaustão, processo por onde os gases de combustão são expelidos para o ambiente, fazendo com o motor receba uma nova mistura limpa, o que corrobora com o desempenho do motor. Contrário aos motores a Diesel, que por meio de leis ambientais, em sua maioria utiliza a recirculação dos gases para promover uma menor

exaustão ao ambiente, e respalda para o resfriamento do motor e menor consumo de combustível (MEDEIROS, et.al 2018).

Os motores têm seus ciclos divididos em quatro tempos, sendo eles a admissão, compressão, expansão e exaustão, desta forma cada um corresponde ao giro de  $180^\circ$  do virabrequim, desta forma tem-se duas revoluções por ciclo. Segundo HEYWOOD (apud RADICCHI, 2018, p. 21) os tempos são explicados a seguir, e ilustrados na Figura 1:

- **1° - Admissão:** Se inicia quando pistão está em sua posição de ponto morto superior (PMS). Nesse caso o volume mínimo possível dentro do cilindro ( $V_c$ ), dado pela diferença entre o volume máximo suportado ( $V_{max}$ ) e o volume de deslocamento do pistão ( $V_d$ ). O ar é então aspirado para dentro do cilindro. Para que isso seja possível, a válvula de admissão se abre antes do PMS e se fecha logo após o tempo de admissão.
- **2° - Compressão:** Quando ambas as válvulas de admissão e escape estão fechadas, o volume interno do cilindro é reduzido até sua quantidade mínima possível, quando o pistão sai do ponto morto inferior (PMI) é desloca-se ao PMS.
- **3° - Expansão:** Com a elevada pressão e temperatura ao fim da compressão, o pistão é forçado pelos gases a ir do PMS ao PMI, quando então a válvula de escape começa a abrir e a pressão a se iguala a pressão de exaustão.
- **4° - Exaustão:** Os gases remanescentes deixam o cilindro pela válvula de exaustão, devido a pressão interna ser maior que a pressão externa e ao movimento de subida do pistão. Após o PMS os gases são expelidos e a válvula se fecha, logo a seguir a válvula de admissão se abre, reiniciando todo o ciclo.

Figura 1 - Operação dos motores de ciclo quatro tempos



Fonte: Adaptado de Hillier (2012)

Nestes tipos de motores os gradientes de pressão são limitados pela pressão de admissão, sendo no máximo igual a pressão atmosférica. Com o intuito de aumentar esse gradiente, elevando a massa de ar admitido, surgiram os motores sobrealimentados, os quais contam com um dispositivo que elevam a pressão no coletor de admissão, com pressão superior a atmosférica. Um dos dispositivos é o turbocompressor, que utiliza os gases de escapamento para gerar trabalho na turbina transferindo para o compressor, o qual aumenta a pressão no coletor de admissão (BRUNETTI e GARCIA, 2012).

## 2.2 Classificação de Tier dos motores

A aplicação dos motores Tier I ao IV está ligado diretamente a certificação de emissão que cada um possui, se distinguindo pela quantidade de gases que eles retêm, evitando que sejam despejados ao meio ambiente de acordo com as normas nacionais e internacionais regentes (MEDEIROS, et.al 2018). A fase do PROCONVE MAR-1 (Máquinas Agrícolas e Rodoviárias - Fase 1), de acordo com a Resolução CONAMA 433/2011, é aplicável às máquinas agrícolas e de construção novas, nacionais e importadas. É uma legislação similar à norte-americana Tier 3 ou à europeia Stage III (JONH DEERE, 2022).

Desta forma com o intuito de reduzir as emissões foram criados os veículos fora de estrada Tier 1, com a meta de reduzir principalmente NOx, mesmo tendo um impacto mínimo sobre a máquina (BERTINATTO, 2021). O desenvolvimento da tecnologia continuou passando pelas etapas Tier 2 e Tier 3 com tecnologias ainda mais

rígidas de proteção ambiental. Ao se comparar o Tier 1 com o Tier 2 tem-se uma grande redução de NOx e HC (Hidrocarbonetos), comparando o Tier 2 com Tier 3 os particulados permanecem semelhantes, mas o Tier 3 se sobressai por ser mais eficiente, reduzindo um maior volume dos gases (JOHN DEERE, 2022). Modelo do motor TIER III e ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Motor Jonh Deere Tier III – 9.0 L PowerTech™



Fonte: Jonh Deere (2022).

As pesquisas não estagnaram aos modelos Tier 3, nos modelos Tier 4 tem-se uma grande vantagem em relação ao modelo anterior, pois sua tecnologia permite utilizar os dois tipos de redutor de gases EGR e o SRC, que conseqüentemente conseguir reduzir ainda mais a emissão de NOx e HC. Nos dias atuais os motores Tier III e IV são referências no mercado devido as suas vantagens no baixo consumo de combustível, simplicidade operacional, aumento da vida útil dos motores, confiabilidade e por atenderem as demandas ambientais com baixas emissões de gases (MEDEIROS, 2018).

### **2.3 Componentes das tecnologias tier III**

Com o intuito de operar e manter as baixas emissões de gases, os motores foram atualizados com novas tecnologias para atender as normas ambientais. Das tecnologias utilizadas para atingir a meta na grande maioria dos motores tem-se os seguintes itens.

### 2.3.1 Turbocompressor VGT

Em um motor diesel naturalmente aspirado, o ar no tempo da admissão é causado pela depressão do cilindro em seu caminho do PMS ao PMI do pistão (PIZZECO, 2019). No motor diesel sobrealimentado, a porta de admissão do cilindro é forçada de tal forma a obter uma massa maior de oxigênio no mesmo volume, juntamente com diesel injetado de maior massa, permitindo uma maior pressão seja gerada resultando em maior potência e torque (HILLIER, 2012).

O VGT é uma abordagem mais eficiente, mas complexa. A turboalimentação usa uma turbina onde a capacidade do ar é mudada automaticamente durante a operação do motor. Isso permite que a saída da turbina seja ajustada, para fornecer energia mínima de acionamento do compressor no nível de reforço necessário quando o motor estiver funcionando (BARBOSA, 2008).

Desta forma os gases de escape são reutilizados, permitindo a passagem pela turbina onde se transmite ao compressor o ar que será utilizado no cilindro de combustão. Com os gases sendo reutilizados, o turbocompressor garantirá a eficiência em todos os regimes de funcionamento do motor, com o critério de manter os níveis desejados de gases (MARIA, 2018).

### 2.3.2 Unidade ECU

Com a eficiência da operação do motor na montagem dos veículos, o controle eletrônico do acelerador foi introduzido. Isso acelerou a fabricação (sem cabos rígidos do acelerador passando pelo somente pelo firewall), eliminou-se a necessidade de uma válvula de controle de ar de marcha lenta e permitiu que a ECU (do inglês *Electronic Control Unit*) tenha um controle adicional sobre o motor para melhorar a utilização do EGR, melhor controle sobre o desligamento e partida melhorada (PIZZECO, 2019).

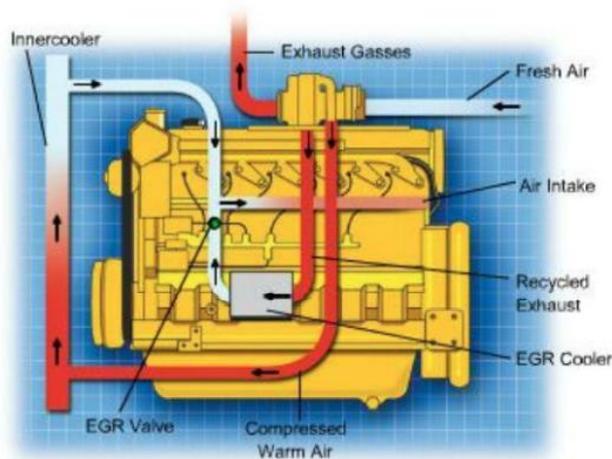
Uma vantagem importante do controle eletrônico do acelerador é que a ECU pode ajustar o ângulo do acelerador durante a aceleração para complementar o fluxo de ar real através do motor. Isso melhora a velocidade com que o ar passa pela admissão e proporciona ganhos de torque e dirigibilidade. Isso é conhecido como mapeamento de torque e só é possível com o controle eletrônico do acelerador (ALMEIDA, 2010).

### 2.3.3 Válvula EGR

Os motores ciclo diesel produzem maiores emissões quando comparados com os de ciclo Otto, especialmente NOx e HC, e têm sido a grande preocupação dos órgãos reguladores ambientais (MARIA, 2018). Mas é o CO (Monóxido de Carbono) o poluente mais perigoso que os motores de combustão interna emite, sendo venenoso para todas as formas de vida. A inalação deste gás remove o oxigênio do sangue das pessoas e a exposição prolongada pode ser fatal (TORRES et al., 2003).

Das tecnologias existentes para o tratamento dos gases em motores de máquinas agrícolas, utilizadas quando o sistema de injeção adotado não atende aos limites de emissões de gases exigidos pela legislação, são, principalmente, o sistema de recirculação dos gases de escape (EGR – *Exhaust Gas Recirculation*) ilustrado na Figura 3, e o sistema de pós-tratamento com a redução catalítica seletiva (SCR – *Selective Catalytic Redution*) (D2G, 2019).

Figura 3 - Sistema de recirculação dos gases de escape



Fonte: D2g (2021).

A utilização do sistema EGR é uma das estratégias para reduzir as emissões de NOx, HC e CO<sub>2</sub>. Este sistema efetua a recirculação de parte dos gases da combustão, retornando-os à admissão, diminuindo assim a concentração de oxigênio e aumentando a temperatura da carga de ar de admissão. Existem casos em que são utilizados radiadores para resfriar os gases de escape antes de retornar a admissão, reduzindo a temperatura de combustão e conseqüentemente as emissões dos gases poluentes. No entanto, o EGR pode aumentar o desgaste do motor, impactar negativamente na

potência e consumo de combustível, além de aumentar as emissões de material particulado (REYNOLDS et.al, 2007; BRIJESH e SREEDHARA, 2013).

### 2.3 Gases de Exaustão

A exaustão é o último processo nos motores, sendo responsável por expelir os gases provenientes das combustões para fora da câmara do pistão, possibilitando uma nova mistura ar combustível. A cada nova admissão o EGR colabora para o resfriamento do motor, possibilita uma maior admissão gases na mistura, diminuindo o consumo de combustível, mas reintegrando ainda mais elementos contaminantes ao sistema. Dos principais gases encontrados na exaustão, segundo (SOUZA, 2010) os gases de exaustão podem ser encontrados em dois estados: os não poluentes e os poluentes.

#### 2.4.1 Gases de Exaustão não poluentes

**Água ( $H_2O$ ):** o hidrogênio ligado quimicamente no combustível reage com o oxigênio do ar para formar vapor de água, que por sua vez pode se condensar à medida em que esfria. A água constitui cerca de 13% dos gases de exaustão.

**Dióxido de carbono ( $CO_2$ ):** gás não tóxico, incolor e inodoro, que está presente naturalmente na atmosfera, não sendo classificado como um poluente no que diz respeito às emissões de escape dos veículos motorizados. Todavia, ele é uma das substâncias responsáveis pelo efeito estufa e pela consequente mudança climática global. Representa em torno de 14% dos gases de exaustão.

**Nitrogênio:** constitui 78% do ar atmosférico, sendo assim seu principal constituinte. Praticamente não reage durante o processo de combustão, totalizando aproximadamente 71% dos gases de exaustão.

#### 2.4.2 Gases de Exaustão poluentes

**Monóxido de carbono ( $CO$ ):** resulta da combustão incompleta de misturas ar/combustível ricas, em razão da deficiência de ar. O monóxido de carbono é incolor e inodoro, podendo causar envenenamento nos seres vivos, ao inibir a capacidade das células sanguíneas de absorver oxigênio.

**Hidrocarbonetos (HC):** são os compostos químicos formados por carbono (C) e hidrogênio (H). O processo de combustão também produz hidrocarbonetos que inicialmente não estavam presentes no combustível (por exemplo, pela separação de cadeias moleculares muito extensas). Os hidrocarbonetos aromáticos cíclicos (tais como benzeno, tolueno e hidrocarbonetos policíclicos) emitem um odor discernível. Os produtos químicos que resultam quando estas substâncias são expostas à luz solar também são considerados como agentes cancerígenos no caso de exposição prolongada a determinadas concentrações.

**Óxidos de nitrogênio (NO $\alpha$ ):** óxido de nitrogênio é um termo genérico para os compostos formados por nitrogênio e oxigênio. As principais formas encontradas nos gases de escape dos motores de combustão interna são o óxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), assim como o monóxido de nitrogênio (N<sub>2</sub>O), também presente em pequenas concentrações. O NO<sub>2</sub> pode induzir irritação das mucosas quando presente nas concentrações encontradas no ar fortemente poluído. Os óxidos nitrosos podem causar sérios danos ao meio ambiente, em razão da chuva ácida, além de poluição atmosférica.

**Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>):** os compostos de enxofre nos gases de escape especialmente o dióxido de enxofre são produzidos pelo teor de enxofre nos combustíveis. As emissões de SO<sub>2</sub> são causadas apenas em pequena medida pelos veículos motorizados e não são controlados pela legislação de controle de emissões. No entanto, a produção de compostos de enxofre deve ser evitada na medida do possível, já que eles aderem aos conversores catalíticos e reduzem sua capacidade de reação. De modo similar aos óxidos de nitrogênio, o SO<sub>2</sub> também contribui para a criação de chuva ácida.

**Particulados:** sólidos são criados sob a forma de partículas como resultado da combustão incompleta. Embora a composição dos gases de escape varie em função do processo de combustão e da condição de funcionamento do motor, esses particulados consistem basicamente em cadeias de partículas de carbono (hidrocarbonetos) com uma relação de superfície específica extremamente prolongada. Os de hidrocarbonetos não combinados e parcialmente queimados formam depósitos na fuligem, onde são acompanhados por aldeídos, com o seu odor marcante.

## 2.5 Combustível e Óleo lubrificante

Visto o aumento das emissões de poluentes, tinha-se a necessidade de desenvolver combustíveis e óleos lubrificantes de forma atender a demanda do mercado e contribuindo com uma menor parcela de elementos poluentes. As estimativas e diretivas acerca da produção e utilizações de itens derivados de petróleo foram crescendo e se tornando cada vez menos poluente em suas composições químicas.

### 2.5.1 Diesel S10 e S500

O petróleo é a principal matéria prima para fabricação do óleo diesel sendo ele um combustível fóssil, o refinamento dessa matéria nos possibilita a utilização do combustível. A composição do óleo diesel é formada por diversos elementos, dentre os mais presentes, podemos encontrar o carbono, hidrogênio, enxofre, nitrogênio e o oxigênio em baixas concentrações (COMBULUZ, 2020)

A combustão do diesel faz com que o enxofre presente no combustível reaja com o oxigênio, criando assim o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), uma substância que é altamente nociva aos seres humanos e ao meio ambiente. Um dos principais avanços neste sentido foi a diminuição na presença de enxofre na composição do óleo diesel. Segundo (ALE, 2021) temos as seguintes informações sobre o óleo diesel:

#### 2.5.1.1 Diesel S10

Uma das principais características do diesel S10 é possuir no máximo 10mg/kg de enxofre, o que seria equivalente a 10 ppm e uma massa específica de 815,0 a 850,0 kg/m<sup>3</sup>. Desta forma consegue-se reduzir a emissão de partículas nocivas, tornando esse combustível menos danoso ao meio ambiente (TOMANIK, 2000).

Nos padrões de qualidade do diesel o número de cetano deve estar entre 40 – 60, com um aspecto mais transparente, de uma tonalidade mais amarelada o S10 possui um número de cetano igual a 48, o que oferece uma melhor capacidade de combustão com menores volumes de gases, porém com maior custo por litro. Contribuindo para o desempenho superior do motor, e de extrema importância a sua capacidade de

solvente de sujeiras por ter em sua composição uma maior presença de hidrogênio (CHISTIAN, 2019).

#### 2.5.1.2 Diesel S500

A principal diferença entre o óleo diesel S10 e S500 está na quantidade de enxofre, os S500 possui um teor de 500mg/kg de enxofre, o que equivale a 500 ppm e sua massa específica varia entre 815,0 e 865,0 kg/m<sup>3</sup>. Desta forma a presença do enxofre no óleo diesel pode afetar diretamente no desempenho do motor, aumentando os níveis de emissões de gases poluentes no meio ambiente (STACHOWIAK, 2005)

Outra diferença entre os tipos de combustíveis se dá pelo número de cetano que é igual a 42, diferente do S10 que possui 48, o que conseqüentemente oferece uma capacidade menor de combustão, produzindo maior volume de gases. Para o S500 e um diesel comum, geralmente não é aditivado e possui uma coloração avermelhada, pigmentação obrigatória de utilização de acordo com a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) (RUSCHEL, 2014).

Outro ponto sobre o diesel S500 está na reação que o enxofre sofre a combustão ao se encontrar com o oxigênio, essa reação gera o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) (VASQUES, 2021).

#### 2.5.2 Óleo lubrificante

Todos os equipamentos mecânicos apresentam superfícies planas que geralmente deslizam umas sobre outras, desta forma o contato gera o atrito que conseqüentemente leva ao desgaste de ambas as partes. Em função disso, o óleo lubrificante se torna um auxiliar na redução de atrito, inibindo o contato entre as peças mecânicas, atuando também como antioxidantes e agentes detergentes (CARDILLE, 2009).

De forma geral os lubrificantes são compostos por óleos comuns, muitas vezes derivados direto do petróleo com adição de aditivos. Uma das principais características de um lubrificante é a sua viscosidade. Tal parâmetro pode variar devido a alguns fatores, como, por exemplo, a temperatura e pressão (ALMEIDA, 2010).

A intensidade da variação de viscosidade com a temperatura é definida pelo índice de viscosidade, de forma que, quanto maior o índice de viscosidade de um

lubrificante, menor será a variação da viscosidade desse lubrificante com a temperatura. Além da viscosidade, outras propriedades devem ser consideradas, como, por exemplo, ponto de fulgor, resíduo de carbono, cinzas sulfatadas, insolúveis, densidade e índices de neutralização. Segundo Kimura (2010) dentre os tipos de lubrificantes são três mais comuns no mercado, sendo eles minerais, semissintéticos e sintéticos.

- **Óleo lubrificante mineral:** são óleos extraídos do refinamento do petróleo bruto. O que resulta em uma mistura de vários componentes em sua estrutura. Apresenta menor eficiência em variação a temperaturas se comparado aos lubrificantes sintéticos. Trata-se de um óleo mais popular, destinado a motores mais antigos.
- **Óleo mineral semissintético:** desenvolvido através da mistura de óleos básicos minerais e sintéticos. Com quantidade mínima de óleos sintéticos definida, combina-se as melhores propriedades de cada tipo para obter um produto de qualidade, apresenta maior resistência oxidativa e pureza em sua estrutura em comparação aos lubrificantes minerais.
- **Óleo sintético:** desenvolvidos em laboratórios e aprimorados quimicamente, possuem aditivos de alta performance (melhor viscosidade). Proporcionando para o motor maior proteção, limpeza, economia, desempenho e qualidade.

Dentre os 3 tipos de óleo lubrificante a viscosidade de um fluido é a propriedade que determina o valor de sua resistência ao cisalhamento e é devida a interação entre as moléculas do fluido (BELMIRO e CARRETEIRO, 2006).

Os aditivos presentes na composição são elementos químicos orgânicos ou inorgânicos, são adicionados em quantidades de pequeno peso percentual aos óleos básicos dos lubrificantes de modo a melhorar a capacidade de lubrificação e de aumentar a durabilidade do óleo (STACHOWIAK e BATCHELOR, 2005).

## **2.6 Manutenções aplicadas a oficina**

Segundo Gomide et al. (2006), com a relação de estratégia da manutenção a qual é, basicamente, a ideologia do plano, ou seja, os aspectos teóricos que são considerados para que executados de forma objetiva, baseia-se em etapas de

planejamentos e histórico. Outra forma é de acordo com o tipo de intervenção de manutenção adotada.

### 2.6.1 Preditiva

Manutenção preditiva é uma atitude que usa a condição operacional real baseado em banco de dados dos equipamentos e de sistemas de gestão para otimizar a operação total. O objetivo deste tipo de manutenção é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de diversos parâmetros, assim quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite estabelecido para a variável monitorada, é tomada a decisão de intervenção. Normalmente esse tipo de acompanhamento permite a preparação prévia do serviço, além de outras decisões e alternativas. Trata-se de um meio de se melhorar o desempenho do empreendimento, reduzir os prazos e custos de manutenção e prever falhas com maior antecedência (CARVALHO et al. 2009).

Desse modo, Corrêa e Corrêa (2006) explicam que a manutenção preditiva é geralmente aplicada quando existe a possibilidade de monitoramento de condições que determinem a falha, como ruídos, temperaturas ou vibrações, ou ainda, quando a manutenção for excessivamente dispendiosa.

### 2.6.2 Preventiva

Segundo Martins (2008), a manutenção preventiva representa o conjunto de atividades que visa evitar falhas, com o comprometimento do seu desempenho. Ela depende diretamente de informações a ao seu respeito, sendo alimentados por dados dos fabricantes, históricos de manutenção e das inspeções periódicas.

Gomide et al. (2006) ressalta a importância de fazer os registros de todas as atividades de manutenção realizadas, a fim de criar um histórico, o qual seja possível usar como base para a elaboração de um plano de manutenção preventiva, a fim de otimizar a mesma.

### 2.6.3 Corretiva

Este tipo de manutenção é altamente difundida pelo Brasil pelo conceito de “esperar quebrar para depois consertar”, em muitos lugares conhecida como corretiva

emergencial, ou seja, buscar o reparo somente depois da falha. O grande problema desta estratégia se dá pelo seu custo com peças e de materiais até a falha zero, gerando uma falsa noção econômica, pois um item que vem a falhar pode acarretar problemas para os demais presentes no mesmo sistema (Gomide *et al.* 2006).

A manutenção corretiva pode gerar ainda mais custos, não só de reparo, como também de produção, seja ela planejada ou não, pois ela necessita da paralisação total ou parcial do ativo, o que impacta diretamente na produção. Manutenção Corretiva é caracterizada por serviços que demandam ação ou intervenção imediata a fim de não permitir a continuidade do uso dos sistemas, elementos ou componentes dos ativos. Segundo Villanueva (2015) podemos classificar essa manutenção conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação da manutenção corretiva

Aplicação da manutenção	Características
Manutenção corretiva planejada	Se baseia em um condicionamento preventivo, ou até mesmo pelos líderes responsáveis tomando a decisão de operar até falhar ou não. Desta forma pode-se atuar antes do evento de falha, corrigindo o problema identificado e reduzindo o tempo de máquina parada.
Manutenção corretiva não planejada	Falha de maneira não controlada sendo muitas vezes imprevisível. Neste caso e sempre caracterizado pela ocorrência da falha, afetando diretamente fatores técnicos e econômicos.

Fonte: Adaptado de Villanueva (2015)

### 3 METODOLOGIA

A metodologia empregada foi a do estudo de caso da avaliação da influência da utilização da válvula EGR, na presença de elementos contaminantes em motores de colhedoras em uma safra de cana-de-açúcar realizada em duas empresas sucroenergéticas situadas no município de Goianésia-GO. Com os dados de ambas as empresas do grupo, foram analisados dados preliminares sobre o *Exhaust Gas Recirculation* (EGR). Foi utilizado um banco de dados preditivos (Planilhas de Análise de óleo) para verificar os valores de PPM de elementos de desgaste, contidos especificamente no óleo de motor.

Para a análise apresentada foram avaliados os dados de análise de óleo referentes a safra 2019/2020. Foram analisadas 22 colhedoras definidas na Tabela 2, sendo 11 delas com a válvula EGR (máquinas de 2017 que já contemplam as normas do CONAMA, que exige a utilização dessas válvulas) e 11 máquinas anteriores á 2016 que não possuem a válvula em questão.

Foi realizado um comparativo entre os dados de análise de óleo de ambos os tipos de motores, com ênfase na atuação da válvula EGR. Serão identificados os motores com os status “COM” e “SEM” o EGR, especificando os elementos contaminantes/desgastantes presentes nas análises, para avaliarmos se o EGR de fato potencializa a entrada desses elementos no sistema.

Tabela 2 - Resumo dos dados avaliado no estudo de caso

Válvula	Nº de motores	Nº de amostras de óleo
Com EGR	11	150
Sem EGR	11	150

Fonte: O próprio autor

As amostras coletadas durante o período de 2019/2 a 2020/2 foram enviadas para o laboratório SOTREQ em Contagem – MG. Em uma semana tinha-se as análises com três status, NORMAIS, MONITORADAS e CRÍTICAS. Esses três status informados no relatório das análises se referem a quantidade de elementos de desgaste.

Os três status sinalizam condições de utilização do óleo nas análises. As NORMAIS, como o próprio nome sugere, são análises que estão em condições normais de desgaste, os elementos metálicos presentes nesse status estão dentro dos

padrões, sendo assim aptas a trabalhar, sem ter a necessidade de alguma intervenção. As MONITORADAS são análises em que os elementos fogem pouco do padrão e, caso haja reincidência desse status na próxima análise, deve-se realizar intervenções de imediato. E, por último, os status CRÍTICOS são aqueles em que os elementos de desgaste que fogem dos padrões das análises, indicando que ações de manutenção devem ser realizadas imediatamente. Os valores elevados de PPMs sugerem que a utilização do óleo lubrificante nestas condições pode vir a danificar mecanismos internos se não realizadas as intervenções adequadamente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Definindo Frotas

Como descrito na metodologia Item 3, para começar o estudo foi necessário escolher os ativos que possibilitariam realizar o comparativo quantitativo dos elementos presentes nas análises. Sabendo que os dados preditivos começaram a ser analisados na segunda metade de 2019, através do laboratório da SOTREQ, em Contagem-MG, tinha-se então poucos dados a respeito dos ativos que não possuíam a válvula EGR, muito disso se dá por que esses ativos anteriores a 2016 já estavam no final de sua vida útil de produção, que conseqüentemente tiveram um menor número de análises realizadas quando comparadas a os ativos mais novos. Na Tabela 3 foram definidas as frotas.

Tabela 3 - Frotas escolhidas para o estudo comparativo

Com EGR			Sem EGR		
Frotas	Ano	Modelo	Frota	Ano	Modelo
14057	2017	2017	12874	2016	2016
14058	2017	2017	12875	2016	2016
14059	2017	2017	12876	2016	2016
14060	2017	2017	12877	2016	2016
14067	2017	2017	12878	2016	2016
14068	2017	2017	12882	2016	2016
14069	2017	2017	12883	2016	2016
14179	2018	2018	14000	2017	2017
14180	2018	2018	14001	2017	2017
14181	2018	2018	14002	2017	2017
14332	2019	2019	14003	2017	2017

Fonte: O próprio autor

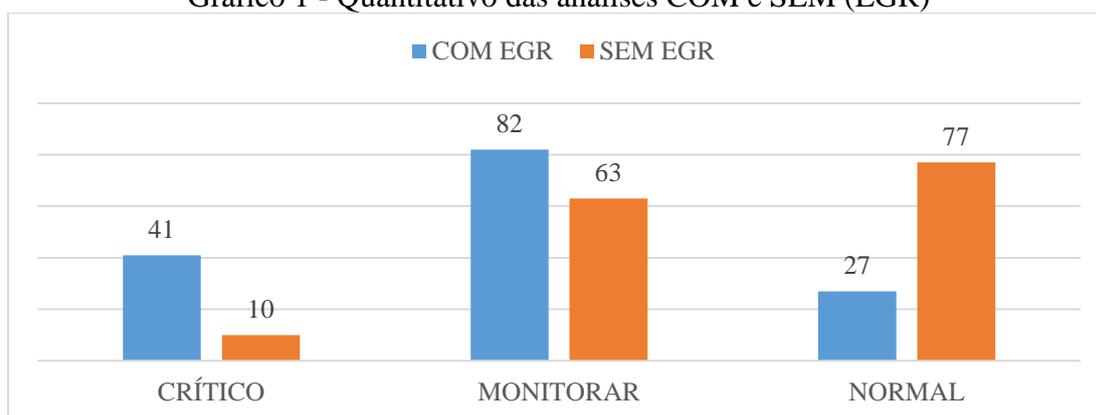
Determinados os ativos que seriam analisados, foram levantados bancos de dados das análises de óleo de motor dos ativos, o período de análises teve início na segunda metade de 2019, assim o período do banco de dados foi de 2019/2 a 2020/2, o que contempla quase uma safra e meia de atividades para os ativos.

## 4.2 Banco de Dados

Com o banco de dados definido, foram estabelecidos um total de 300 análises a serem estudadas. As amostras eram coletadas a cada 500 horas seguindo a troca de óleo do motor, o fluido que estava no motor era coletado uma quantidade de 200 ml e enviados ao laboratório responsável pelas análises, o restante era descartado adequadamente e posteriormente era substituído por um novo fluido lubrificante.

Os três status informados pelas análises, a saber, NORMAIS, MONITORADAS e CRÍTICAS, a princípio, foram os responsáveis por mostrar uma considerável diferença entre os resultados dos ativos que contemplavam a válvula EGR, conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Quantitativo das análises COM e SEM (EGR)

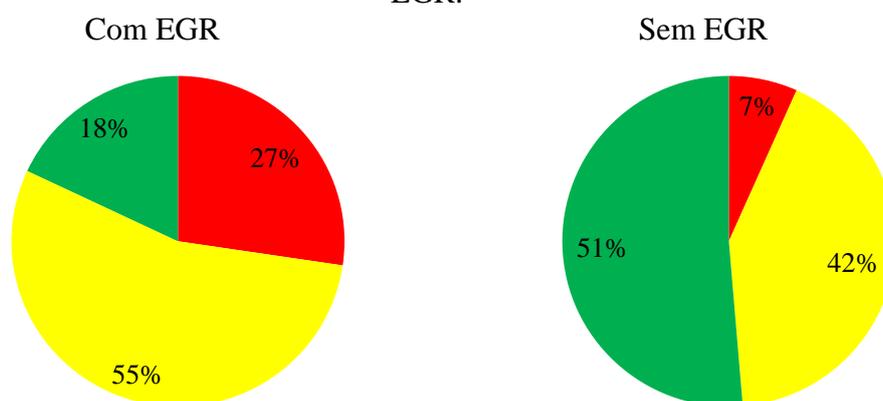


Fonte: O próprio autor

Os dados presentes na coloração azul representam o número de análises com EGR, e as em laranja estão para os que não possuem o EGR. Nota-se que os motores com válvula EGR apresentam mais amostras no estado crítico e a monitorar do que os motores sem a válvula EGR, nos quais as análises se comportam de maneira oposta, com a maioria em condições normais. Os ativos com válvula EGR possuem 41 das amostras em estado CRÍTICO e 82 das amostras em estado a MONITORAR. Adicionalmente, validando ainda mais a percepção de que a válvula ERG gerava um maior desgaste nos motores, os ativos que não possuem a válvula têm-se 77 amostras do total em estado NORMAL. Esses números levantaram um alerta de que algo estava errado no processo, e uma das primeiras hipóteses levantadas para justificar essa diferença discrepante de resultados foi a utilização do EGR.

Em uma outra perspectiva, apresentam-se no Gráfico 2 a porcentagem da quantidade de análises em estado crítico (em vermelho), a monitorar (em amarelo) e normais (verde) para cada condição (com e sem EGR) avaliada.

Gráfico 2 - Porcentagem dos status das análises para os motores com e sem válvula EGR.



Fonte: O próprio autor

Percebe-se, então, que para os motores sem a válvula EGR, 51% das análises de óleo estavam em condições normais. Por outro lado, para os motores com a válvula EGR, apenas 18% das análises estavam em condições normais, o que reforça a hipótese de que a utilização da válvula EGR é fator determinante no aumento da quantidade de particulados presentes no fluido lubrificante. Considerando também as análises em estado crítico, é notável a diferença entre os resultados, sinalizando que os ativos mais novos (com EGR) necessitam de uma atenção em sua manutenção, de modo que, as mesmas tratativas não se aplicam a ambos os motores, apesar de ambos estarem expostos as mesmas condições de trabalho.

#### 4.3 Parâmetros de Análises

Realizar inspeções nos motores durante o período de safra, não é viável, e sem a manutenção preditiva não saberíamos em quais condições os motores realmente se encontrariam. Um grande ponto positivo na manutenção preditiva é ter parâmetros para nortear as tomadas de decisão, que consiste em saber se o motor requer alguma intervenção ou não. Essas informações deveriam ser disponibilizadas pelo próprio fabricante, mas infelizmente não é simples obtê-las.

Para obtermos essa base norteadora, correlacionamos as informações de (ROBERTO *et.all* 2021) colaborando para o estudo com os níveis de PPM aceitáveis no óleo lubrificante e GASPARINI (apud BERTINATTO, 2021, p. 8) que efetuou análises de em óleos lubrificantes com a finalidade de encontrar a origem interna dos elementos. Desta forma, estruturou-se um comparativo dos resultados das análises de óleos com as causas mecânicas de contaminação, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros PPM e origem dos elementos desgaste e contaminação

Elementos metálicos	Fontes típicas (origem/desgaste)	(PPM) – máx.
Fe - ferro	cilindros, camisas, ferrugem (carbonização ou pulverização de água), e virabrequim, eixos comandos, engrenagens, válvulas.	50
Cu - cobre	mancais, buchas e peças com composição de bronze, disco de fricção.	20
Cr - cromo	cilindros, anéis, virabrequim e engrenagens	5
Al - alumínio	mancais e contaminação externa	15
Sí - silício	poeira e antiespumante	20

Fonte: O próprio autor

As análises CRÍTICAS devem ser resolvidas como manutenções corretivas planejadas, na condição ideal de até 48 horas. A reincidência das análises posteriores pode indicar a origem do desgaste. Se utilizada de forma correta essas informações, junto as tratativas preventivas orientadas pelo laboratório, é possível reduzir o desgaste prematuro desses componentes, alcançando a estimativa inicial informada pela fabricante.

#### 4.4 Quantitativo Comparativo

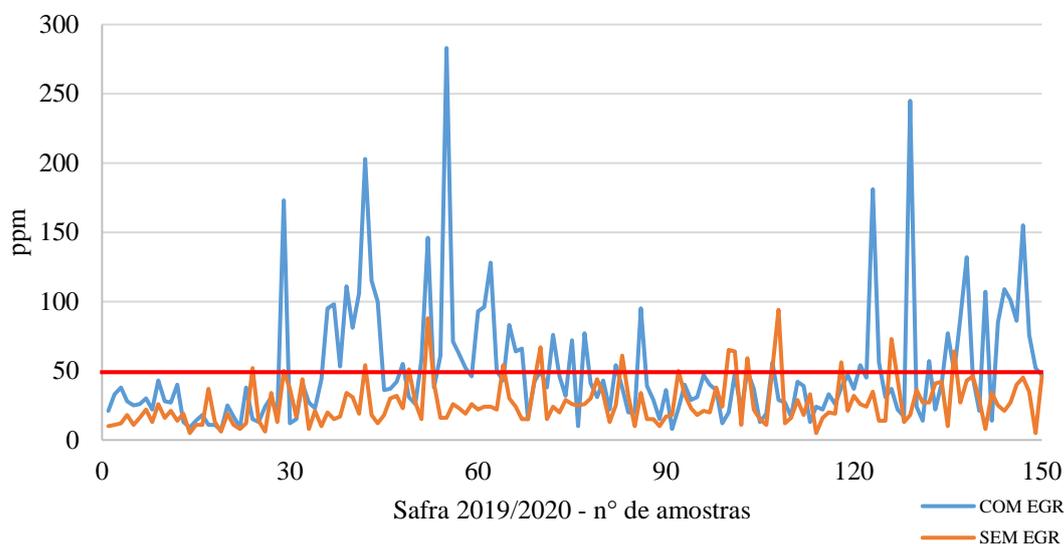
Para que se torna-se possível esse quantitativo comparativo entre as colhedoras CH 570, definimos os períodos das análises, em meados de julho de 2019 até o início do mês de dezembro de 2020.

Levando em consideração os quatro meses que as máquinas ficam paradas para a manutenção, período chamado de entressafra, os ativos e suas respectivas análises foram escolhidas de forma que a quantidade de análises fosse próxima para ambas as condições (com e sem EGR), desta forma não haveria discrepância nos resultados.

Definidas as frotas com o banco de dados alinhados e parâmetros definidos, partimos para o estudo quantitativo comparativo. Desta forma então, foi observado, com base no tempo das análises, o comportamento que cada motor apresentou ao longo da safra, algo próximo a 3500 mil horas trabalhadas.

A análise poderia ser ainda mais completa, possivelmente contemplando ainda mais itens a serem observadas para uma melhor conclusão, mas, por questões de parâmetros, as análises se limitaram aos dados definidos no Item 4.3. Os resultados apresentados a seguir são definidos nas duas condições, a linha azul representa as colhedoras que possuem a válvula EGR, e a linha laranja as que não possuem, ilustrados nos Gráficos 3,4,5,6 e 7.

Gráfico 3 - Quantitativo Comparativo dos elementos de Ferro (Fe). A linha azul representa as colhedoras que possuem a válvula EGR e a linha laranja as que não possuem.

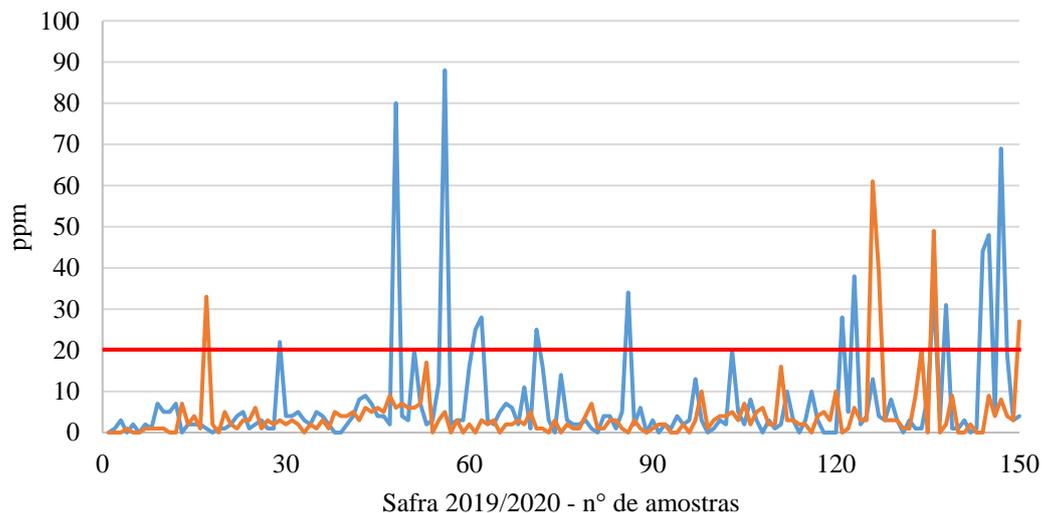


Fonte: O próprio autor

E perceptível que ao longo da safra os ativos que não possuem o EGR detêm valores do PPM próximos ou na grande maioria abaixo do limite tolerável, mesmo quando situadas como CRÍTICAS, os valores não se alteram por muito tempo. Se tratando de um elemento metálico como o ferro, o atrito entre as peças internas e o particulado de forma contínua pode criar folgas na estrutura do motor que

possivelmente permitem uma passagem de outros particulados através das canaletas de lubrificação do pistão.

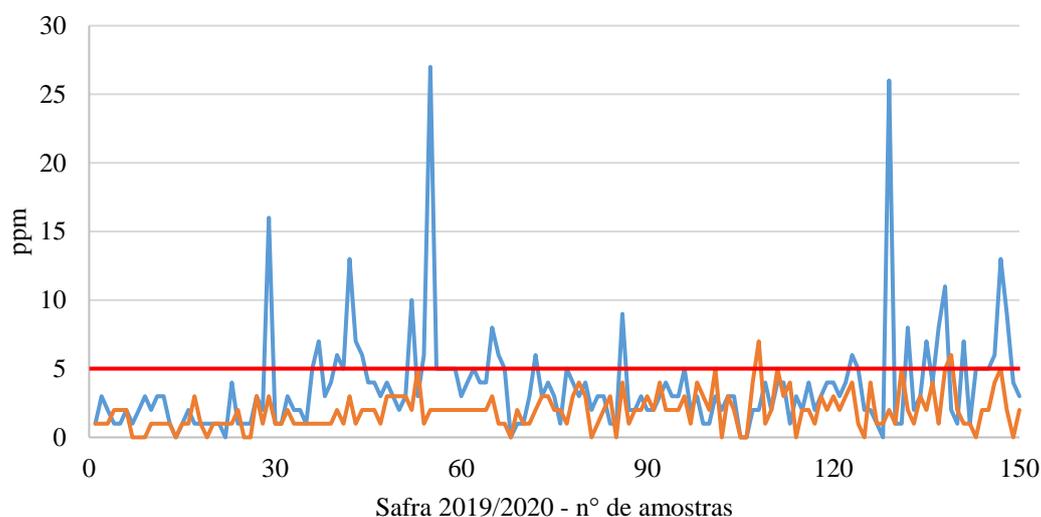
Gráfico 4 - Quantitativo Comparativo dos elementos de Cobre (Cu). A linha azul representa as colhedoras que possuem a válvula EGR e a linha laranja as que não possuem.



Fonte: O próprio autor

A utilização do cobre no Gráfico 4 e mais específico, sua composição pode ser encontrada na grande maioria em buchas e mancais (Assim como o alumínio no Gráfico 6), itens utilizados principalmente para manter fixados/estáticos as peças que trabalham em altas rotações. Mas assim como o ferro, o desgaste aqui pode comprometer a fixação adequada dos demais componentes, podendo levar a uma quebra direta dependendo do nível de desgaste/condição do componente.

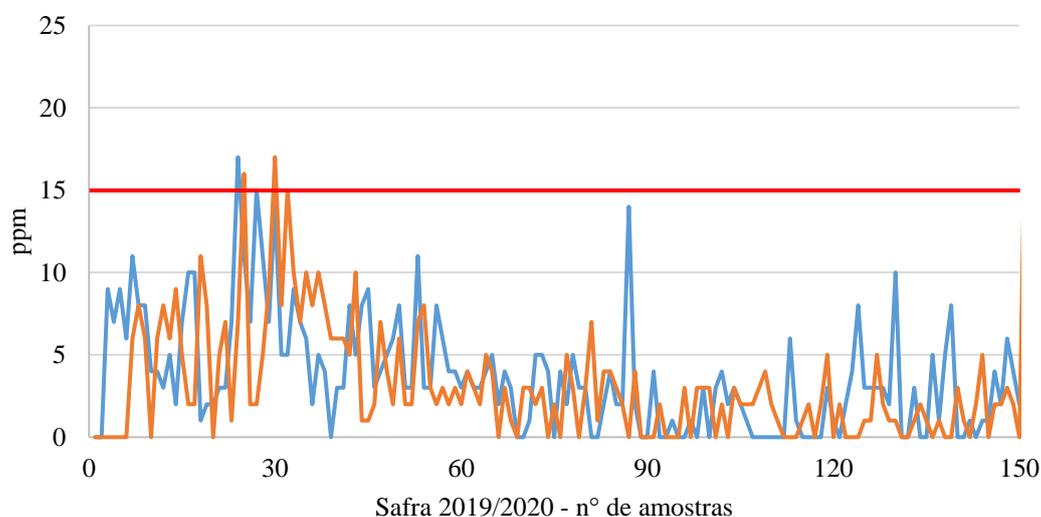
Gráfico 5 - Quantitativo Comparativo dos elementos de Cromo (Cr). A linha azul representa as colhedoras que possuem a válvula EGR e a linha laranja as que não possuem.



Fonte: O próprio autor

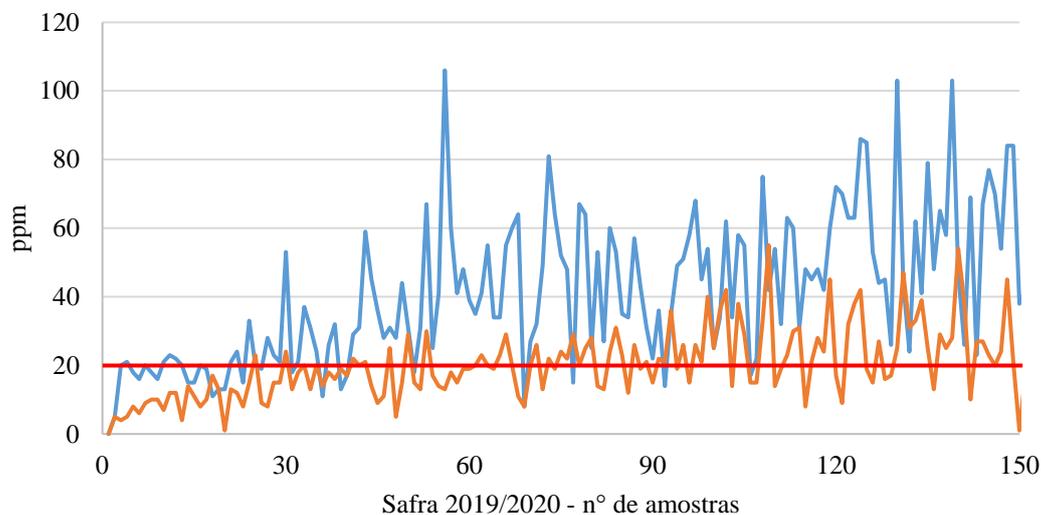
O quantitativo de PPM do cromo no Gráfico 6 e baixa comparada com o ferro, apesar de também ser um elemento metálico, ele encontra-se em composições de componentes ainda mais específicos. Os valores de cromo no geral se encontram dentro dos parâmetros para as duas condições analisadas, mas os picos apresentados podem representar altos desgaste por parte dos anéis e cilindros, um indicativo que pode ser correlacionado a uma menor compressão, menor torque e consequentemente o motor não performará bem quando solicitado.

Gráfico 6 - Quantitativo Comparativo dos elementos de Alumínio (Al). A linha azul representa as colhedoras que possuem a válvula EGR e a linha laranja as que não possuem.



Fonte: O próprio autor

Gráfico 7 - Quantitativo Comparativo dos elementos Silício (Si). A linha azul representa as colhedoras que possuem a válvula EGR e a linha laranja as que não possuem.



Fonte: O próprio autor

Acredita-se que os particulados de silício no Gráfico 7 seja o elemento mais abundante nas análises, pois, temos uma contaminação externa e interna acontecendo, a contaminação interna existe diretamente no ciclo diesel, sendo boa parte vindo de fontes fósseis, tais como o Diesel S-500, óleo de lubrificante e o próprio ar atmosférico com principal contaminante externo, uma vez admitido ao sistema podem trazer consigo particulados de poeira que potencializa a entrada do silício.

Considera-se que pela quantidade e a constate contaminação do silício de forma interna, o elemento colabora para o aumento dos demais elementos, naturalmente um motor tende a depreciar, mas o desgaste natural somado aos particulados externos e internos inseridos nos processos, podem colaborar para que essa depreciação seja ainda maior.

#### 4.5 Limitações da manutenção

Com o intuito de verificar a hipótese do desgaste gerado pela reutilização dos gases, deveríamos expressar em valores de forma norteadora os itens que mais falham em seus custos para a manutenção. Porém, nem todas as intervenções realizadas nos motores são de responsabilidade direta da oficina, mas sim de terceiros especializados e técnicos das empresas afiliadas a concessionária. Desta forma, os laudos técnicos que poderiam colaborar para as análises de falhas, quantificando as peças que foram

substituídas na safra, norteando melhor quais futuras ações a serem tomadas, mas infelizmente não houve disponibilidade dos dados para a análise.

Entretanto, por parte do laboratório temos informações que podem nortear a manutenção. A cada nova análise feita temos o indicativo dos elementos mais presentes, os possíveis focos de origem do desgaste e as ações que podem ser tomadas para reduzir a contaminação e garantir a redução dos riscos das falhas. Para os três níveis de análises temos alguns indicativos preditivos, conforme mostram a Tabela 5,6 e 7.

Tabela 5 - Interpretação das análises críticas

---

**Exemplo 1:** Os teores de Silício e Alumínio sinalizam entrada de poeira, que pode ocasionar desgaste nas **camisas, pistões, eixos comandos, engrenagens, válvulas, arruelas de encostos, casquilhos e buchas** indicado pelos níveis de Cobre, Cromo, Níquel e Ferro. Verificar imediatamente presença de ruídos anormais, condição dos filtros de ar, pré-purificador, linhas de admissão, turbo alimentação e limalhas no filtro de óleo. Trocar o óleo e coletar nova amostra na metade do período normal de coleta

---

**Exemplo 2:** Os teores de Ferro, Cromo, Níquel, Chumbo, Silício e Alumínio podem sinalizar entrada de poeira, desgaste nas **camisas, pistões, eixos comandos, engrenagens, válvulas, arruelas de encostos, casquilhos e buchas**. Os elevados teores de Sódio e Potássio indicam contaminação por líquido de arrefecimento. Verificar imediatamente linhas de admissão, turbo alimentação, presença de óleo no radiador, consumo de líquido, aumento da temperatura de operação, sistema de arrefecimento e pressurizar o radiador. Foi trocado o óleo. Coletar nova amostra na metade do período normal de coleta.

---

**Exemplo 3:** Os altos valores de oxidação (superaquecimento) e sulfatação indicam degradação do óleo e podem ocasionar desgaste nas **camisas, eixos comandos, engrenagem, válvulas, pistões, arruelas de encostos, casquilhos e buchas**, evidenciado pelos teores de Ferro, Cobre e Chumbo. Verificar imediatamente aumento da temperatura de operação, eficiência do sistema de arrefecimento, extensão do período de troca do óleo, verificar sistema de injeção, sopro no cárter e qualidade do combustível utilizado. Trocar o óleo e coletar nova amostra na metade do período normal de coleta.

---

Fonte: O próprio autor

Tabela 6 - Interpretação das análises monitoradas

---

**Exemplo 1:** Os teores de Silício e Alumínio sinalizam entrada de poeira, que podem ocasionar desgaste nas **camisas, pistões, eixos comandos, engrenagens e válvulas**, indicado pelo nível de Ferro. Verificar na inspeção diária ruídos anormais e condição dos filtros de ar. Na próxima revisão verificar sistema de admissão e limalhas no filtro de óleo. Foi trocado o óleo. Coletar nova amostra regularmente.

---

**Exemplo 2:** Identificados traços de limalhas ferrosas. Verificar na inspeção diária ruídos anormais. Na próxima revisão verificar limalhas no filtro de óleo e o correto procedimento de coleta. Trocar o óleo e coletar nova amostra regularmente.

---

Fonte: O próprio autor

Tabela 7 - Interpretação das análises normais

---

**Exemplo 1:** Nível normal de desgaste. Monitorar nos intervalos regulares. Foi trocado o óleo. Acompanhar presença de limalhas no filtro de óleo e ruídos anormais. Primeira amostra do componente. São necessárias mais amostras para acompanhamento da tendência de desgaste.

---

**Exemplo 2:** Nível normal de desgaste. Monitorar nos intervalos regulares. Foi trocado o óleo.

---

Fonte: O próprio autor

Para os três níveis de análise, sempre vai existir a contaminação, o que distingue os status entre elas é o número de PPM e a quantidade de elementos que se apresenta na análise. Pode-se notar na Tabela 5 (referente as análises críticas) que a quantidade de elementos, peças quantificadas e ações a serem tomadas é bem superior aos demais status. Nos status NORMAIS e MONITORADAS, as atividades sinalizadas pelo laboratório se realizadas, os valores de PPM dos contaminantes podem manter-se ou diminuir, no entanto a única atividade realizada na empresa é a troca de óleo, atividade essa não muito efetiva.

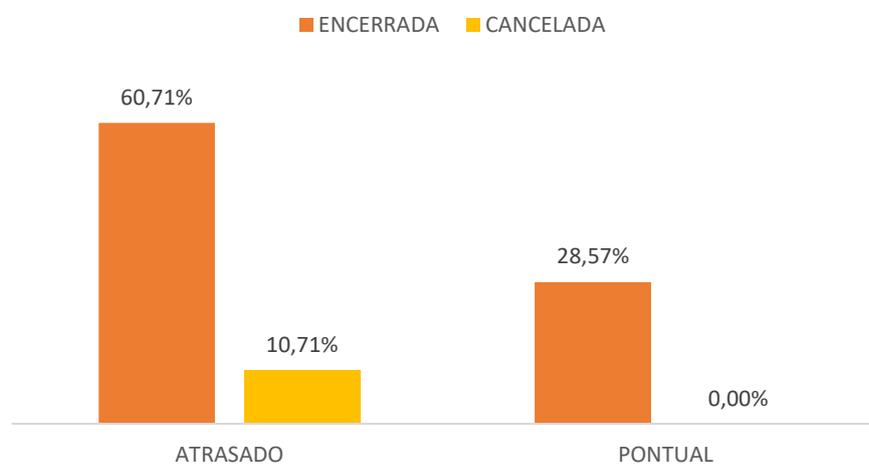
Essas ações sinalizadas pelo laboratório não são realizadas de forma efetiva, pois alguma dessas atividades demandam muito tempo de máquina parada, desta forma é mais viável a depreciação do componente. Foi constatado que, mesmo nos casos CRÍTICOS as atividades recomendadas pelo laboratório são realizadas de forma tardia e, às vezes, nem são realizadas, tornando-se executável em sua grande maioria a troca antecipada de óleo, uma ação muito simples que não consegue sanar o problema a curto prazo.

#### 4.6 SAC e O.S

A ideal inicial das análises era criar uma estimativa da vida útil dos motores, no entanto, esse objetivo não seria alcançado, já que as tratativas sinalizadas não eram realizadas. Para os status CRÍTICOS, era gerado um SAC (Sistema de atendimento ao campo), que posteriormente era inserido nas ordens de serviço (O.S).

Para o mesmo período considerado na criação do banco de dados das análises, podemos ver no Gráfico 8 as O.S encerradas das atividades que foram propostas.

Gráfico 8 - Ordens de Serviço realizadas referentes as análises de óleo 2019 - 2020



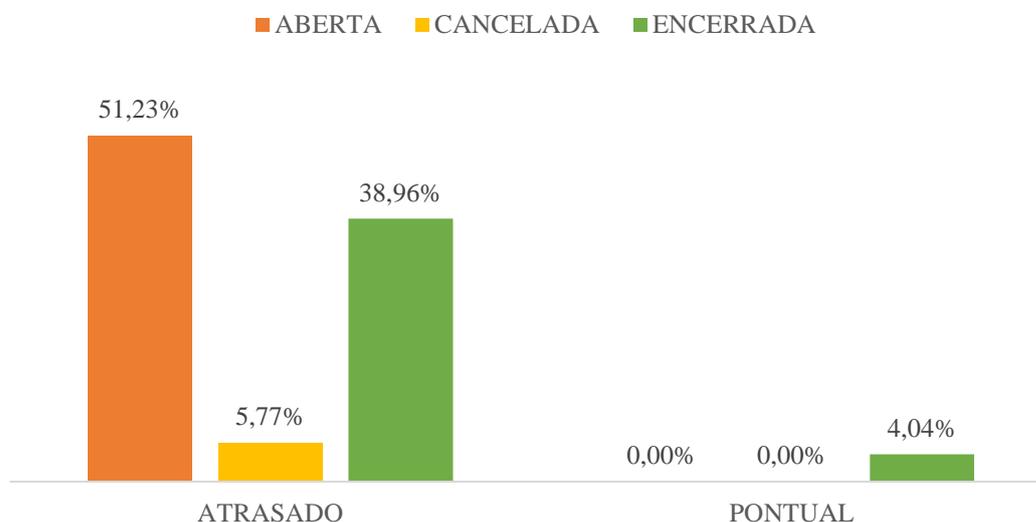
Fonte: O próprio autor

No total de 23 O.S. concluídas, temos 10,71% canceladas, 60,71% encerradas com atraso, superior ao tempo estimado de 48 horas e apenas 28,57% dentro do prazo. A partir do banco de dados do Gráfico 1, ao quantificar os status críticos temos 51 O.S. abertas, assim comparando a demanda solicitada e a que foi atendida, apenas 45,09% foram atendidas e se for visto dentro do período efetivo de 48 horas apenas 15% foram concluídas. Percebe-se, portanto, que as O.S. geradas não foram prontamente atendidas, ocasionando uma maior exposição dos motores aos altos índices de elementos contaminantes e desgastantes. Levando em conta que, em muitos casos, as O.S. referentes ao atendimento das tratativas necessárias, nem se quer foram abertas, o número de tratativas devidamente atendidas foi ainda menor do que consta em registro.

Fora do período analisado, em dados mais recentes, temos uma outra perspectiva para as tratativas propostas pelo laboratório. Conciliar os dados preditivos

para aplicar de forma preventiva, com o intuito claro de reduzir os riscos de degradação do motor em geral, incluindo as condições da válvula ilustrado no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Ordens de Serviço realizadas referentes as análises de óleo 2021



Fonte: O próprio autor

Aqui temos um aumento exponencial no número de O.S abertas em função das análises de óleo, mas infelizmente a operacionalização da manutenção ainda se mostra tardia. No gráfico 10 podemos observar que cerca de 57% das amostras não tiveram uma tratativa ficando em abertas, e 43% das O.S concluídas, sendo 4,04% realizadas de formas pontuais. É notável que mesmo depois de um ano os números se mantiveram, devido a reincidência das tratativas da oficina para com as orientações do laboratório.

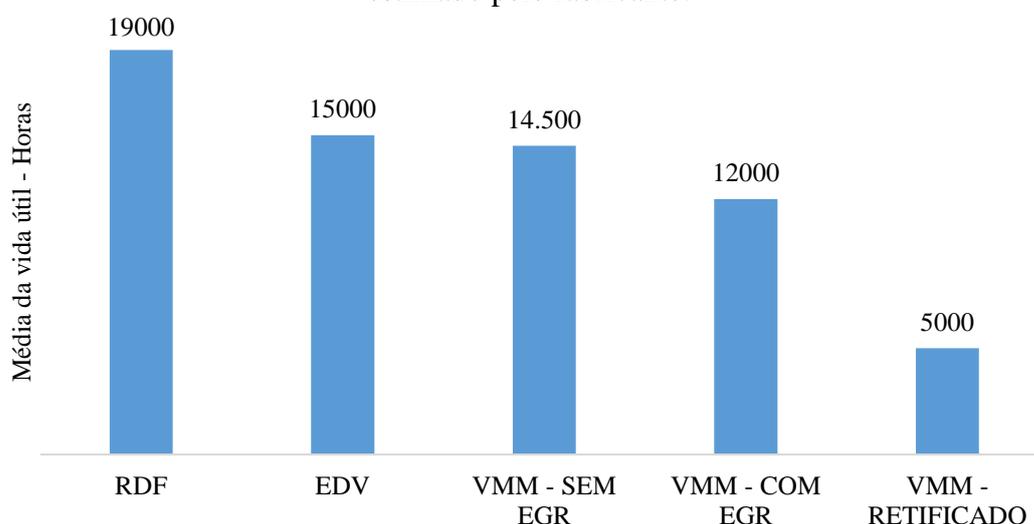
Uma vez que as ações não foram aplicadas ao ativo, e ele se mantém com altos índices de contaminação, drenar o óleo já utilizado não fará com que todas as impurezas sejam totalmente removidas. Ao adicionar um novo óleo lubrificante, ele automaticamente já estará contaminado. A manutenção preventiva, somadas às análises de óleo, aos laudos técnicos, a pontualidade das tratativas e a mão de obra qualificada, poderia controlar melhor os índices de contaminação, garantindo uma operação de confiança, restringindo ainda mais a poluição ao meio ambiente e aumentando a vida útil dos motores.

#### 4.7 Vida útil dos motores

O uso do EGR é de extrema importância para vida útil do motor, e principalmente na redução dos gases poluentes ao meio ambiente. A princípio tinha-se a ideia de que os motores que utilizavam do EGR estavam propícios a falhas e degradações severas pela simples presença desse dispositivo em seu sistema.

Fato é que a utilização do EGR em sua totalidade não afeta o motor diretamente, pelo contrário é de extrema importância para seu funcionamento. Mas sim, o EGR pode ser um grande potencializador de elementos de desgaste, contaminantes e particulados, se a manutenção não estiver atuando de forma preventiva a essas anomalias. No Gráfico 10 apresentamos 5 indicadores de tempo de vida dos motores. O primeiro valor mostrado é o RDF (Renovação de Frota), que é o período estimado de vida do motor, sendo definido pela soma da EDV (Expectativa de Vida – dada pela concessionária) com a VMM-retificado (Vida Média do Motor - retificado). No Gráfico 10 pode-se notar uma redução na perspectiva da vida útil dos ativos, em função do aumento dos elementos:

Gráfico 10 - Tempo de vida útil média dos motores comparado ao tempo de vida estimado pelo fabricante.



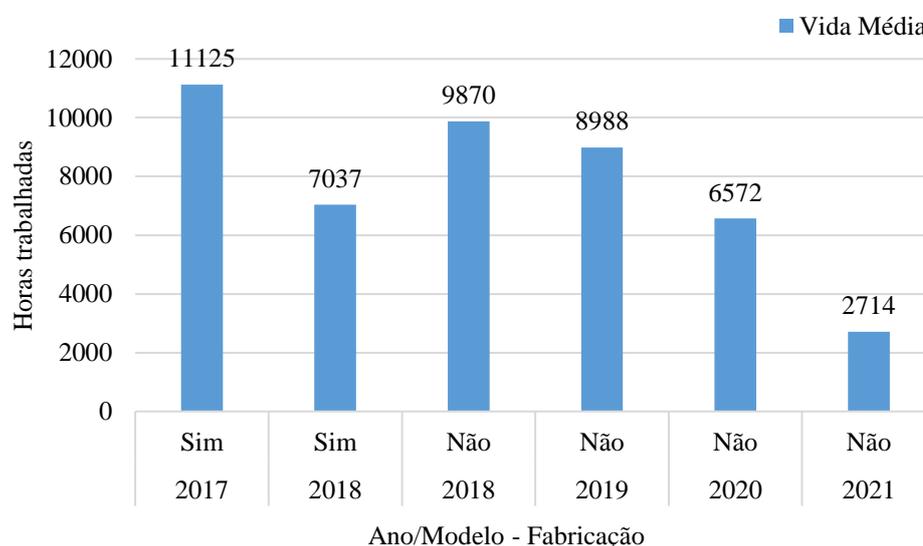
Fonte: O próprio autor

O EDV é uma base para os dados de vida útil dos motores com e sem EGR, estimado pelo fabricante. Podemos observar que, para o VMM – SEM EGR (Vida média do motor – SEM EGR) o valor está próximo ao tempo de vida estimado pelo

fabricante. No entanto, o valor do VMM – COM EGR (Vida Média do motor – COM EGR) está bem abaixo do EDV, que é o valor estimado pelo fabricante. No caso dos motores com EGR, mesmo com o valor da retifica agregado a ele, ainda sim estaria abaixo do valor RDF (Renovação de Frota), podendo-se dizer que a máquina estaria se depreciando ao ponto de não se pagar totalmente.

O que pode colaborar para isso são os custos “extras”, uma vez que a válvula não tem uma periodicidade de manutenção ou de troca, acredita-se que ela deveria acompanhar o motor em toda sua vida útil. O que na verdade ocorre é a válvula falhar antes do tempo esperado conforme o Gráfico 11.

Gráfico 11 – Período de falhas do EGR



Fonte: O próprio autor

No Gráfico 11 podemos notar que houve falha do EGR nos ativos entre os anos de 2017 e 2018, fora ainda do período das análises de óleo, sendo ainda mais incômodo, pois não se tinha conhecimento da causa raiz das falhas na metade de período estimado pelo fabricante. As falhas surgiram entre 7000 a 11000 horas trabalhadas, totalizando um custo de R\$ 45.000 mil reais diretos com a válvula. Levando em conta a insuficiência da manutenção, os quantitativos dos elementos de desgaste, os custos gerados pelas falhas e a redução no tempo de vida útil dos motores com EGR, entende-se que a válvula EGR se torna um potencializador dos elementos de desgaste quando manutenção não ocorre de modo apropriado a esse tipo de motor, se tornando um item depreciativo aos componentes internos.

## 5 CONCLUSÃO

Analisando o banco de dados preditivo das unidades, do total de 300 análises de óleo, pode-se constatar que, as colhedoras que possuem a válvula EGR, detém maiores valores de elementos de desgaste e contaminação. A princípio tinha-se a concepção de que a válvula EGR era o objeto que poderia gerar essa discrepância nos resultados das análises. Entendeu-se posteriormente que ela pode, de fato, influenciar nesse processo, mas não é o único fator responsável, podendo atribuir as falhas também a manutenção e outros processos diretamente ligados as colhedoras, como lubrificação e abastecimento.

Toda contaminação dos motores se inicia no seu ciclo normal de operação, com a não utilização do óleo diesel adequado, na admissão do ar atmosférico e dos gases de exaustão, em que ambos possuem particulados metálicos e de contaminação e, no óleo lubrificante, uma vez que as intervenções que seriam realizadas para reduzir a contaminação não são realizadas adequadamente.

Com o trabalho concluído, todos os objetivos foram atingidos, sendo possível identificar, quantificar e comparar os elementos, atribuindo assim a contaminação não somente a válvula EGR, mas também à ineficiente ação da manutenção e operação.

Os fabricantes de motores com válvula EGR recomendam que a análise de óleo seja feita em intervalos determinados para o acompanhamento do estado do fluido lubrificante, para que a tratativa adequada seja executada pela manutenção, garantindo, assim, o pleno funcionamento do dispositivo. É possível afirmar, portanto, que enquanto as recomendações do fabricante dos motores com válvula EGR não forem atendidas dentro do prazo esperado, com ênfase para a manutenção adequada, não é possível afirmar que a presença da válvula EGR para a recirculação de ar reduz o tempo de vida do motor.

Podemos concluir desta forma que a válvula EGR não é o principal item responsável pela contaminação dos motores, mas sim pode ser o principal potencializador, caso as demais variáveis que compõe o processo, não estejam de acordo com as condições adequadas de manutenção sugeridas pelo laboratório e pelo fabricante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S, A. **O uso da simulação no desenvolvimento de motores diesel.** Mestre em Engenharia Automobilística. Universidade Estadual de Campinas, 16 abr. 2010.

BARBOSA, R. L. **Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel.** Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 5, p. 1588 - 1593, set/out 2008.

BERTINATTO, R. **Desempenho e emissões de um motor agrícola ciclo diesel utilizando misturas de óleo diesel, biodiesel e etanol.** Santa Maria, RS. p. 242, 2021  
Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 6.938, de 31/06/1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências

BRUNETTI, F.; GARCIA, O. **Motores de combustão interna.** São Paulo: Blucher, v. 2013, n. 2, 2012

CARDILLE, D. M. **Uma abordagem a respeito do desgaste em materiais de camisas de cilindros de motores diesel atendendo as modernas leis de emissões.** Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, p. 91, 2009.

CARDOSO, M. S.; ROMIO, R. **Avaliação das emissões de gases poluentes por motor de combustão interna de ciclo diesel em operação experimental com etanol.** p. 10, [s.d.].

CARRETEIRO, R.P.; BELMIRO, P.N. **Lubrificantes e lubrificação industrial.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006.

CARVALHO, A.M.; BORGES, M. C.; GOMES, M.G; JUNIOR, N.B.F. **Implantação de Sistema Informatizado para Planejamento e Controle da Manutenção – Empresa Vileflex.** 2009, 91p. Curso Superior de Tecnologia – Manutenção Industrial, Universidade Vale do Rio Doce - Univale, Minas Gerais, 2009.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

FERRARI, G. *Motori a combustione interna*. [S.l.]: Società Editrice Esculapio, 2016

GOMIDE, Tito L. F., PUJADAS, Flávia Z. A., NETO, Jerônimo C. P. F. **Técnicas de inspeção e manutenção predial: vistorias técnicas, check-up predial, normas comentadas, manutenção X valorização patrimonial, análise de risco**. São Paulo, Editora PINI, 2006.

GONÇALVES, D. A. C. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de Conhecimento: Mecânica dos Sólidos. p. 129, [s.d.].

Hawley, J.G., et al. "**Reduction of Steady State NOx Levels from an Automotive Diesel Engine Using Optimized VGT/EGR Schedules**", SAE Technical Paper 01-0835, 1999

HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engine fundamentals**. 1. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 1988. 930

HILLIER, V. *Hillier's Fundamentals of Motor Vehicle Technology*. 6. ed. [S.l.]: Nelson Thornes, 2012. 616

DEERE, J. Parts catalog. Disponível em: <https://partscatalog.deere.com/jdrc/>

KHAIR, Magdi K.; JÄÄSKELÄINEN, Hannu. *Exhaust Gas Recirculation*. 2014. Disponível em: Acesso em: 16.set.2015

LEOPOLDO, S. Josimar Souza Rosa. p. 102, [s.d.].

MARIA, S. **Diretrizes sobre os limites de emissões de poluentes de motores de máquinas agrícolas no brasil**. p. 114, 2018.

MENEZES, E. W. **Produção de trabalho, geração de contaminantes e tratamento pós-combustão em motores ciclo diesel**. p. 170, 2009.

MURARO, M. A. **Efeito do uso de recirculação de gases de exaustão (EGR) na contaminação do lubrificante e no desgaste de anel e camisa de motor de combustão interna com ciclo diesel**. p. 241, Curitiba. 2016.

PIZZECO, M. M. **Aplicação da engenharia de manutenção em colhedoras de cana de açúcar numa usina sucroalcooleira do triângulo mineiro: um estudo de caso.** p. 25, 2019.

RADICCHI, F. DE C. **Estudo numérico da influência do enquadramento de válvulas e da recirculação dos gases de exaustão no escoamento de ar, na formação da mistura e na combustão de um motor de ignição por centelha.** p. 123, Belo Horizonte, 2018.

ROBERTO, O.C.W; ALEJANDRO, B.E.D. **Análisis de aceites de las cosechadoras y su incidencia en la productividad del ingenio san carlos.** Universidad estatal de Milagro, 2013

STACHOWIAK, G.W. AND BATCHELOR, A.W. **Engineering Tribology.** Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2005.

TOMANIK, A. E. M. **Modelamento do desgaste por deslizamento em anéis de pistão de motores de combustão interna.** Doutorado em Engenharia Mecânica—São Paulo: Universidade de São Paulo, 19 jul. 2000.

VASQUES, R. C. PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. p. 11, [s.d.].

VILLANUEVA, M. M. A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação. p. 173, 2015.

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.