



SINDICATO INTERMUNICIPAL DO COMÉRCIO VAREJISTA DE COMBUSTÍVEIS E
LUBRIFICANTES DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (SULPETRO)

Estudo Técnico
Panorama Sistêmico da Qualidade e
Conformidade do Óleo Diesel B no Brasil

Porto Alegre – RS
Outubro
2025

Apresentação

Este estudo técnico foi elaborado pelo Eng. Químico José André Della Giustina Neto, CREA-RS-052720 e CRQ-V-05301848, contratado com a TECDUS Tecnologia e Engenharia S/S Ltda, pelo SULPETRO.

O Eng. Químico J. A. Della_Giustina Neto, tem 40 anos de experiência em engenharia e projetos industriais de plantas químicas, petroquímicas, óleo e gás, nas etapas de refino, terminais de armazenamento e transporte dutoviário, rodoviário, ferroviário e aquaviário, de petróleo e seus derivados. Atua como engenheiro de processo, na definição de equipamentos, instrumentação e sistemas complementares, em projetos conceituais, básicos e detalhados. Atua, também, como membro participante da CEDAC (Comissão de Estudo de Distribuição e Armazenamento de Combustíveis) da ABNT/ONS-034/CE 034 000 004.

A TECDUS Tecnologia e Engenharia Industrial Ltda, registrada no CREA-RS sob o Nr.132361, CNPJ 07.096.822/0001-67, empresa de engenharia com 20 anos de existência, prestando serviços de consultoria, projetos e estudos especiais.

O número de identificação deste documento na TECDUS é 20026-EST-0000-001.

Este trabalho foi elaborado com base em uma revisão bibliográfica cujos dados e informações foram retirados da bibliografia especializada, literatura técnica disponível e acessível pela internet, assim como das normas técnicas, leis e regulamentos publicados a partir das fontes listadas abaixo.

Site da ABNT: <https://www.abntcatalogo.com.br/>

Site da ANP: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

Site da ASTM: <https://br.astm.org/pt/>

Uma lista das referências, detalhada, correspondente às citações inseridas no texto, pode ser encontrada no item 14 deste trabalho e reflete a atualidade do tema em análise, fundamentando as conclusões e recomendações deste estudo.

Assinatura do Resp. Técnico

Eng. Químico e Biotecnologista
José André Della Giustina Neto
CREA RS 052720
CRQ V 05301848

Índice

1. ABREVIATURAS	4
2. OBJETIVOS	6
3. RESUMO	7
4. INTRODUÇÃO	8
5. CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO DIESEL (OD)	11
6. PROBLEMAS DE PRODUÇÃO E CONSERVAÇÃO DO ÓLEO DIESEL B	20
7. PROBLEMAS RELACIONADOS AO FUNCIONAMENTO E MANUTENÇÃO DO MOTOR ..	29
8. CONTROLE DA QUALIDADE – ABRANGÊNCIA E RESPONSABILIDADES	36
9. MEDIDAS MITIGADORAS PREVISTAS NA REGULAMENTAÇÃO ATUAL	44
10. ANÁLISE COMPARATIVA COM OUTROS PAÍSES	47
11. PERSPECTIVAS FUTURAS PARA O ÓLEO DIESEL B, NO BRASIL	51
12. CONCLUSÕES	54
13. RECOMENDAÇÕES & PROPOSIÇÕES	56
14. REFERÊNCIAS	57
ANEXO – DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE ..	65

1. ABREVIATURAS

Foram utilizadas as seguintes abreviaturas, sempre explicitadas na primeira vez que foram citadas no texto. São elas:

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
API	Instituto Americano do Petróleo (API, do inglês <i>American Petroleum Institute</i>)
ASTM	do inglês, American Society for Testing and Materials
B100	Combustível com 100% de Biodiesel do tipo FAME
BD	Biodiesel (em geral), molécula derivada da reação de transesterificação de material graxo com um álcool
CI	Ignição por Compressão (do inglês, <i>Compression Ignition</i>)
CN	Número de Cetanas (do inglês, <i>Cetane Number</i>)
CO	Monóxido de Carbono (o mesmo que a fórmula química)
EDTA	Ácido Etileno Di-amino Tetra-Acético (do inglês, <i>EthyleneDiamine Tetra-Acetic acid</i>)
EU	União Europeia (do inglês, <i>European Union</i>)
FAME	Ester Metílico de Ácidos Graxos (do inglês, <i>Fatty Acid Methyl Esters</i>)
GLP	Gás liquefeito de Petróleo
HC	Hidrocarbonetos
HV	Poder calorífico (do inglês, <i>Heating Value</i>)
HHV	Poder calorífico superior (do inglês, <i>Higher Heating Value</i>)
LHV	Poder calorífico inferior (do inglês, <i>Lower Heating Value</i>)
NOx	Óxidos de Nitrogênio
OD	Óleo Diesel em geral
ODA	Óleo diesel – tipo A, conforme RES968
ODB	Óleo Diesel – tipo B, conforme RES968
ODC	Óleo Diesel – tipo C, conforme RES968

ODM	Óleo Diesel Mineral
ODR	Óleo Diesel - tipo R, obtido pelo coprocessamento do diesel tradicional, derivado de petróleo, com matérias-primas renováveis, como o óleo de soja
PRC	Posto de Revenda de Combustíveis
RES828	Resolução N° 828 da ANP, publicada em 01/09/2020
RES888	Resolução N° 888 da ANP, publicada em 05/10/2022
RES920	Resolução N° 920 da ANP, publicada em 04/04/2023
RES968	Resolução N° 968 da ANP, publicada em 30/04/2024
RES978	Resolução N° 978 da ANP, publicada em 09/12/2024
RES987	Resolução N° 987 da ANP, publicada em 12/08/2025
RD	Óleo Diesel Renovável (do inglês, <i>Renewable Diesel</i>)
SG	Densidade (em inglês, <i>Specific Gravity</i>)
SGs	Sedimentos e Gomas - resíduos da oxidação do OD
SOx	Óxidos de enxofre (SO ₂ e SO ₃)
S500	Óleo Diesel, com teor máximo de 500 mg de enxofre/kg de combustível
S10	Óleo Diesel, com teor máximo de 10 mg de enxofre/kg de combustível
TRR	Transportador-Revendedor-Retalhista
USA	Estados Unidos (do inglês, <i>United States of America</i>)
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis (do inglês, <i>Volatil Organic Compounds</i>)

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi apresentar, de modo sistematizado e abrangente, os diversos aspectos relacionados aos setores de produção, distribuição e comercialização do Óleo Diesel tipo B (ODB) no Brasil, analisando os diversos problemas de qualidade enfrentados, cotidianamente, por seus agentes econômicos.

Para isto, realizamos uma revisão bibliográfica, incluindo normas, regulamentos e informações técnicas sobre este produto, construindo, assim, a base de um panorama amplo sobre o assunto.

Abaixo listamos os objetivos específicos, mais importantes deste estudo.

- a) Caracterização físico-química do produto e seus componentes, além da relação com algumas propriedades importantes para sua conservação, e funcionamento de motores que operam com Combustão Iniciada por Compressão (CI, do inglês, *Compression Ignition*);
- b) Análise do tipo de Biodiesel (BD) predominantemente utilizado no Brasil, o Ester Metílico de Ácidos Graxos (FAME, do inglês *Fatty Acid Methyl Esters*) e suas misturas, em relação aos problemas de qualidade já conhecidos.
- c) Análise do sistema de controle de qualidade implantado pelas resoluções da ANP, indicando possíveis falhas e oportunidades de aperfeiçoamento. Apresentar as ações de mitigação dos problemas já conhecidos, analisando seus pontos positivos e negativos.
- d) Detalhar os problemas de conservação dos seguintes produtos: FAME e ODB, em toda a cadeia de fornecimento.
- e) Relacionar os problemas de performance com as características destes produtos (FAME e ODB) e suas formulações.
- f) Apresentar as perspectivas para o setor de combustíveis.
- g) Propor melhorias em normas e procedimentos, se necessário.

3. RESUMO

Examinamos amplamente o problema de conservação da qualidade do ODB, e seus reflexos para os agentes econômicos do setor de combustíveis, pela primeira vez, incluindo os fabricantes de veículos e consumidores finais. Para isto, acessamos a literatura técnica especializada, e principalmente as resoluções da ANP que regulam esta atividade no Brasil. Iniciamos nosso estudo abordando as principais propriedades físico-químicas do óleo diesel mineral, comparando com o biodiesel. Na sequência analisamos a origem e as consequências dos problemas de conservação do ODB, em todas as etapas de seu ciclo econômico, ou seja, produção, armazenamento, distribuição, e comercialização. Para complementar o entendimento das consequências, citadas anteriormente, abordamos, também, o funcionamento de um motor ciclo diesel, os avanços tecnológicos da indústria automobilística, relacionando os problemas levantados com cada aspecto mecânico afetado durante o funcionamento do motor. Com a finalidade de contribuir para o processo de melhoria do ambiente de regulação, analisamos o sistema de controle e garantia da qualidade do ODB no Brasil, escrutinamos detalhadamente seu funcionamento, evidenciando as responsabilidades de cada agente econômico, e suas falhas mais evidentes. Incluímos em nosso estudo uma análise específica dos aditivos antioxidantes, preconizados pela ANP, que pretendem resolver os problemas de armazenamento do ODB. Comparamos o sistema brasileiro com o de outros países, precursores e muito mais avançados na utilização do biodiesel. Com base em todo conhecimento acessado analisamos as perspectivas futuras para o mercado brasileiro de combustíveis líquidos renováveis, e qual a solução mais rápida e segura, em relação ao ODB, capaz de trazer tranquilidade e estabilidade em sua produção e comercialização. Por fim, explicitamos algumas conclusões deste estudo técnico e apresentamos algumas proposições para encaminhar uma solução dos problemas enfrentados pelos PRC. Ao final anexamos um diagrama atualizado do sistema de controle e garantia da qualidade resultante das resoluções da ANP vigentes, com o intuito de facilitar sua visualização e compreensão.

4. INTRODUÇÃO

Este estudo trata do mercado de combustíveis no contexto brasileiro. Mais especificamente, do ODB, comercializado nos Postos de Revenda de Combustíveis (PRC), cuja especificação técnica consta no anexo da Resolução N° 968 (RES968) da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em sua última edição (ANP,2024a).

O setor de importação, produção, distribuição e comercialização do ODB, principalmente o PRC e os consumidores finais deste produto, vem enfrentando diversos problemas relacionados à sua qualidade. Portanto, faz-se necessário lançar alguma luz sobre: (I) a natureza deste combustível, (II) o processo de produção, (III) a diversidade de matérias primas autorizadas para sua fabricação, (IV) possíveis causas e responsabilidades por não conformidades, assim como, (V) dificuldades para seu armazenamento e conservação. Tudo isto, está intrinsecamente relacionado à sua composição e propriedades físico-químicas, além das condições climáticas, especialmente, na região sul do Brasil.

Esta situação é agravada pela sistemática e progressiva modificação em sua formulação, vinculada a uma política nacional, iniciada em 2002, que apesar do reconhecido mérito e relevância quanto aos objetivos, tem sido ineficiente quanto à identificação e mitigação dos impactos destas modificações para os agentes econômicos deste setor, principalmente para o PRC e proprietários de veículos com motores ciclo diesel.

Deste modo, buscamos referências na literatura técnica disponível, para obter informações que nos auxiliem no melhor entendimento dos diversos aspectos desta pauta, ou seja, a construção de um panorama abrangente quanto à conformidade e qualidade deste produto. Para isto, abordamos diversos aspectos relacionados ao ODB, listados a seguir: (I) sua caracterização físico-química, (II) problemas com sua conservação, (III) aspectos relacionados ao funcionamento do motor tipo CI; (V) regulação e sistema da qualidade vigente no Brasil; (VI) tentativas de mitigar os problemas já detectados, (VII) análise comparativa com outros países, e (VIII) perspectivas futuras.

Iniciamos nosso estudo propriamente dito, no item 5, por um breve histórico desde o surgimento até o momento atual, do motor tipo CI, mais conhecido como tipo Diesel, e os diferentes combustíveis por ele utilizados. Neste mesmo item, trazemos as informações sobre a composição do FAME e do ODB, e abordamos algumas propriedades físico-químicas relacionadas a sua performance como combustível. São informações, minimamente necessárias, para compreensão do que vem a seguir. Sem esta base torna-se impossível entender a natureza dos problemas, atualmente, enfrentados pelos agentes deste setor econômico, assim como, suas respectivas responsabilidades.

Apresentada uma base teórica mínima, no item 6, explicitamos as diversas etapas de fabricação e armazenamento deste produto. Destacamos as etapas críticas deste processo, desde os produtores, passando pelos distribuidores e varejistas, até o consumidor final. Abordamos a questão da diversidade de matérias primas, autorizadas no Brasil, e os problemas correlatos. Dedicamos maior atenção aos problemas de conservação da conformidade e da qualidade em todas estas etapas, deixando então as bases para o entendimento quanto às responsabilidades de cada agente econômico, as quais serão objeto de análise detalhada no item 8 deste estudo.

Antes, porém, apresentamos no item 7 informações sobre a dinâmica dos motores tipo CI. O princípio de funcionamento destes motores. O porquê e como as características do ODB podem afetar sua performance e manutenção. Como são afetadas suas emissões. Todas estas informações justificam, ao final, nossa sugestão para inclusão imediata dos fabricantes de veículos neste debate, aqui no Brasil. Para que, a exemplo do que ocorre em outros países, eles se manifestem publicamente sobre os problemas atualmente suportados somente por uma parte dos agentes econômicos deste setor.

No item 8, acessamos o sistema de garantia da qualidade definido pela ANP, a qual regula a produção e comercialização do ODB e seus componentes. Analisamos detalhadamente as seguintes resoluções: (I) a RES968, (II) Resolução N°978 (RES978) (ANP,2024b), a qual suspendeu o artigo 13° da RES968, (III) a Resolução N°920 (RES920) (ANP,2023),

(IV) a Resolução N°828 (RES828) (ANP,2020), e (V) a Resolução N°888 (RES888) (ANP,2022), a qual regulamentou a RES828, (VI) a Resolução N°987 (RES987) (ANP,2025). Mapeamos todas as etapas de controle, anotamos possíveis falhas e inconsistências, com o objetivo de contribuir para o aperfeiçoamento deste sistema.

Apresentada a regulamentação aplicável, fica evidente o reconhecimento tácito, pela ANP, das dificuldades em garantir a qualidade do ODB ao longo de sua cadeia de fornecimento. *Ipsa facto*, temos as medidas mitigadoras já adotadas e incluídas nas resoluções desta agência. Portanto, no item 9 do presente estudo, analisamos tecnicamente estas contribuições à solução dos problemas já notórios e assumidos pela agência regulatória. Nesta análise, abordamos as vantagens e desvantagens introduzidas por estas medidas, sendo os aspectos negativos, por vezes, negligenciados em razão do necessário aprofundamento técnico ou urgência e foco nas vantagens obtidas.

Ao finalizar a construção do panorama nacional, enfrentado pelo setor de produção, distribuição e comercialização do ODB, sem esquecer o consumidor final deste produto, temos, então, no item 10, condições de comparar o cenário brasileiro com o de outros países, os quais iniciaram esta jornada muitos anos antes de nós. Assim, foi possível constatar que os problemas enfrentados foram similares, o que nos permite aproveitar da experiência estrangeira para minimizar nossos custos e evitar caminhos comprovadamente equivocados, sempre levando em conta nossas peculiaridades nacionais.

No item 11, com base nas informações analisadas nos itens anteriores, apresentamos perspectivas para a melhoria deste panorama, no sentido de continuar valorizando a política nacional de substituição gradual da base fóssil para a renovável, sem no entanto inviabilizar o setor. Principalmente o PRC, expondo este agente econômico a uma insegurança técnica e jurídica, a qual dificulta a continuidade de sua atividade e o desempenho de seu papel socioeconômico.

Nos itens 12 e 13 são apresentadas, objetivamente, as conclusões e recomendações deste estudo técnico.

5. CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO DIESEL (OD)

No Brasil, atualmente, a comercialização de OD nos PRC está restrita ao ODB, no entanto, existem dois outros tipos especificados na RES968 da ANP, são eles: (I) Óleo Diesel tipo A (ODA) e o (II) Óleo Diesel tipo C (ODC), ambos de uso e venda restritas. Esta situação se impõe por legislação e regulação do setor. Não existe opção de escolha para o revendedor, ou mesmo para o consumidor que abastece seu veículo em um PRC.

Como veremos a seguir, historicamente, esta obrigatoriedade não foi sempre uma realidade e, mesmo atualmente, existem países onde a possibilidade de livre escolha entre mais de um produto, pelo revendedor e consumidor, permanece. É o caso da Alemanha. Veremos, mais adiante, a importância desta “escolha” para o pleno atendimento aos direitos do consumidor.

5.1 Surgimento do motor diesel e combustíveis utilizados

O motor CI possui características especiais, as quais permitem a queima de diversos tipos de moléculas. De fato, o primeiro combustível utilizado na primeira apresentação pública deste invento, na feira mundial em Paris, no ano de 1900, foi um óleo vegetal (óleo de amendoim), como nos relata em seu artigo KNOTHE e RAZON (2017).

O fato de a ignição do combustível vaporizado, no interior do cilindro, dar-se por compressão e não por uma fonte externa de energia (faísca), torna o ciclo do motor dependente, unicamente, da presença de moléculas grandes o suficiente para que suas ligações químicas sejam rompidas a uma determinada pressão e temperatura, liberando a energia térmica necessária para queima das demais moléculas presentes nesta câmara de combustão. Esta condição termodinâmica torna os motores CI mais eficientes, energeticamente, que os motores com ignição controlada externamente (por faísca), tais como os motores ciclo Otto (motores a gasolina ou etanol).

O motor tipo CI surge em um mundo no qual o petróleo ainda não é a principal fonte de energia. O combustível denominado “óleo diesel”

é desenvolvido pela indústria do petróleo algum tempo após a criação deste tipo de motor e por isto leva o nome de seu inventor. O carvão ainda era base energética da sociedade e as gorduras animais e vegetais o insumo de maior importância para conservação de alimentos (banha) e iluminação (óleos). Antes de queimar óleo diesel os motores CI convencionais fizeram uso do querosene.

É evidente que os aperfeiçoamentos tecnológicos deste tipo de motor, resultantes do choque do petróleo em meados dos anos 70, e mais recentemente, devido às pressões regulatórias com objetivo de redução das emissões gasosas (PISCHINGER,1996; NABI *et al.*,2006; ASHRAFUL *et al.*,2014; RAJENDRAN,2020; RAJENDRAN;GANESAN,2021; SHAHRIDZUAN ABDULLAH *et al.*,2021; HOSSEINZADEH-BANDBAFHA *et al.*,2022; YANG *et al.*,2024), passaram a estreitar os limites aceitáveis quanto a qualidade do combustível utilizado. Analisaremos, no item 7 deste estudo, estas novas limitações e suas causas relacionadas aos avanços tecnológicos dos motores tipo CI atuais.

A seguir, apresentamos algumas características básicas dos combustíveis, as quais serão importantes para as análises teóricas posteriores neste estudo.

5.2 Características gerais para o correto funcionamento dos motores CI

As características que trazemos para este estudo restringem-se àquelas que estão diretamente ligadas ao funcionamento e performance do motor CI. Não pretendemos esgotar o assunto, e sim destacar alguns conhecimentos básicos que facilitem a compreensão da natureza dos problemas enfrentados com o ODB, no Brasil.

5.2.1 Ponto de Autoignição

Conforme definição proposta por RIAZI (2005) transcrita abaixo:

“This is the minimum temperature at which hydrocarbon vapor when mixed with air can spontaneously ignite without the presence of any external source.”

Portanto, considerando a natureza dos motores tipo CI, o ponto de autoignição de cada molécula que compõe o OD, associada à pressão e temperatura interna do cilindro, é, sem dúvida alguma, a

característica chave de qualquer combustível para funcionar adequadamente (KIM et al., 2023).

O ponto de autoignição (pressão e temperatura), de uma parte das moléculas que compõem o combustível para motores tipo CI, não deve ser maior nem menor que o ideal determinado pelo projeto mecânico do motor.

A definição deste parâmetro do combustível envolve a relação de compressão e a temperatura no interior do cilindro. Portanto, só o fabricante do motor pode se manifestar sobre a adequação, ou não, desta propriedade do combustível.

5.2.2 Número de Cetanas (CN, do inglês, *Cetane Number*)

Considerando que todo combustível é, na realidade, uma mistura com diferentes moléculas, com diferentes temperaturas de autoignição (em uma mesma pressão), é preciso utilizar um parâmetro que permita comparar a performance do motor, operando com diferentes formulações de combustível em relação a uma formula padrão, independentemente da origem fóssil ou renovável destas moléculas.

No caso do motor CI, a molécula padrão estabelecida é o *n*-cetano (*n*-hexadecano- $C_{16}H_{34}$), a qual é atribuído o CN=100, já para o α -metil naftaleno é atribuído o CN=0. Assim, um OD com CN=60 comporta-se como uma mistura binária contendo 60% de *n*-cetano e 40% de α -metil naftaleno. Este parâmetro é o CN, conforme definido por RIAZI (2005).

Na prática, o CN mede, indiretamente, a facilidade que um combustível (mistura de diferentes moléculas) tem para iniciar o processo de ignição (WITKOWSKI et al., 2023). Este é um parâmetro, normalmente, estimado com base na composição molecular. Neste artigo, o autor também se refere à precisão desta estimativa. Os autores concluem que a precisão é maior para o ODM, quando comparado com o BD, em decorrência da presença de átomos como o do oxigênio e uma maior variabilidade de tipos de funções químicas presentes no produto de origem renovável.

Em relação a reação química da combustão, é certo afirmar que quanto maior o CN, mais rápido será o início da ignição (menor “*delay*”) e melhor a performance do motor (RIAZI,2005). No entanto, outros fatores, de natureza física interferem no resultado da combustão (KIM *et al.*,2023).

Portanto, a faixa admissível de variação para o valor de CN do combustível será determinada pelo projeto mecânico e pelo regime de uso ao qual será submetido o motor. Esta faixa deve ser validada pelo fabricante, dependendo da tecnologia empregada por ele.

5.2.3 Viscosidade cinemática

A viscosidade cinemática desempenha, também, um papel importante na injeção do combustível, sendo um limitante para atuação da bomba injetora e dos bicos injetores, conseqüentemente da pulverização do combustível na câmara de combustão.

Esta pulverização adequada é fundamental, também, na redução do retardo (*delay*) da ignição, pois afeta, indiretamente, a distribuição homogênea do combustível no interior do cilindro e a performance do motor em termos de potência e qualidade da queima, podendo gerar a formação de resíduos indesejáveis.

Portanto, quanto maior a viscosidade maior a probabilidade de problemas com a injeção e pulverização, afetando assim, a performance mecânica e a produção de poluentes decorrentes da queima incompleta.

No trabalho publicado por RAJAK *et al.* (2023) encontramos alguns resultados de ensaios para determinação de propriedades físicas, apresentados na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Propriedades de diferentes tipos de combustíveis (dados extraídos da tabela 1 do artigo de RAJAK *et al.* (2023)

Propriedade Física	Tipo de Combustível			
	ODM	RUCO	JC	PP
Poder calorífico Inferior (MJ/kg)	42,6	36,6	39,64	38,91
Viscosidade cinemática, à 40°C (mm²/s)	3,58	4,76	5,11	5,71
Densidade (kg/m³)	830	897	875	880
Número de Cetana	48-52	53	52,3	52,0

Nota: Para identificação dos tipos de combustíveis apresentados nesta tabela, ver descrição no parágrafo a seguir.

Além das propriedades físicas, estes autores determinaram a performance de um motor CI, com vários combustíveis, incluindo misturas, entre elas: (I) 100% de Óleo Diesel Mineral (ODM), (II) ODM com 20% de óleo de fritura reciclado (RUCO, do inglês, *Recycled Used Cooking Oil*), (III) ODM com 20% de óleo de sementes de Jatropha curcas (JC), (IV) ODM com 20% de óleo de sementes de Pongamia pinnata (PP).

Podemos observar na tabela 1, que a viscosidade cinemática das misturas com compostos renováveis aumenta, em relação ao ODM de origem fóssil. Aliás, esta característica, em geral, dos óleos de origem vegetal é que levou ao uso do éster metílico de ácidos graxos. Ao substituir a glicerina (tri-álcool) por um mono-álcool (metanol, etanol) foi possível reduzir a viscosidade dos óleos vegetais, em geral, e eliminar este problema. No caso das gorduras de origem animal a situação é mais crítica em relação a viscosidade.

5.2.4 Densidade (SG, em inglês *Specific Gravity*)

A densidade é uma propriedade relativa, e portanto adimensional. É definida para os líquidos em geral, pela relação abaixo (RIAZI, 2005).

$$\text{Densidade (SG)} = \frac{\text{Massa específica do líquido a uma dada temperatura } T}{\text{Massa específica da água na mesma temperatura } T}$$

A temperatura T (de referência) normalmente varia. Para a indústria do petróleo adota-se T= 15,5°C (60°F).

Por sua vez, em inglês, a grandeza “massa específica” é denominada *Density* e possui unidade (no SI, a unidade é g/cm³). Esta é uma causa de grande confusão na leitura de textos em inglês, mesmo por especialistas no assunto.

O Instituto Americano do Petróleo (API, do inglês *American Petroleum Institute*) definiu os graus API, ou densidade API, como segue (RIAZI, 2005).

$$\text{Graus API} = \frac{141,5}{SG (a 15,5^{\circ}C)} - 131,5$$

Assim, quanto maior a densidade de um fluido (mais pesado), menor será o seu grau API (por exemplo, o grau API da água é igual a 10, já o do benzeno é 28,72) (RIAZI,2005).

A densidade ou os graus API são úteis para estimar (calcular) outras propriedades dos derivados de petróleo, e estão intimamente relacionados com a composição do combustível.

5.2.5 Poder calorífico ou calor de combustão (HV, do inglês *Heating Value*)

O motor a combustão interna é uma máquina térmica, portanto, obtém sua energia a partir da capacidade do combustível de produzir calor ao reagir com o oxigênio. A produção de calor está associada, por sua vez, com a expansão dos gases formados no interior do cilindro. Logo, quanto maior a capacidade de produzir calor por unidade de massa deste combustível, melhor será o rendimento do motor.

Assim, o poder calorífico dos combustíveis é medido em unidades de energia térmica produzida por unidade de massa de combustível. Usualmente, no Sistema Internacional de Unidades (SI), utilizamos kJ/kg. Existem dois valores para esta propriedade, considerando o mesmo fluido, são eles: (I) Poder Calorífico Superior (HHV, do inglês *Higher Heating Value*), e (II) Poder Calorífico Inferior (LHV, do inglês *Lower Heating Value*) (RIAZI,2005).

O HHV inclui a energia gasta para transformar a água líquida produzida, durante a reação de combustão, em vapor. Já o LHV, desconta esta energia gasta, informando apenas a energia efetivamente disponível para expansão dos demais gases resultantes da combustão. A quantidade de água produzida, durante a combustão, depende do teor de hidrogênio em relação aos outros átomos presentes nas moléculas que compõem o combustível utilizado (RIAZI,2005).

Para entender melhor os efeitos dos teores dos principais átomos presentes nos combustíveis em geral, sobre o seu poder calorífico,

apresentamos abaixo a correlação proposta por TSONOPOULOS *et al.* (1986).

$$HHV = 0,15075(C\%) + 0,4924(H\%) + 0,08829(S\%) + 0,02654(N\%) - 0,03752(O\%)$$

Os percentuais de cada elemento químico, indicados na correlação acima, são em relação a massa total. Analisando os coeficientes utilizados nesta estimativa, podemos concluir que o oxigênio é o único dos cinco elementos químicos, cuja presença reduz o poder calorífico do combustível.

Quanto maior o HHV e LHV, maior o valor intrínseco do combustível e melhor seu rendimento termodinâmico (RIAZI,2005).

5.2.6 Ponto de Névoa

Esta propriedade, na regulação da ANP pode ser encontrada na tabela II da RES968 denominada como “Ponto de Entupimento de Filtro a Frio”, e está diretamente relacionada à formação de cristais de hidrocarbonetos pesados (ceras) a temperaturas muito baixas. Apesar de, no Brasil, normalmente não ocorrerem temperaturas muito baixas (abaixo de 0°C), nos estados da região sul, tem sido comum registrar temperaturas negativas durante o inverno, nos pontos mais altos destes estados.

Tabela 2 – Ponto de Entupimento de Filtro a Frio (transcrita da tabela 2, constante na RES968)

UNIDADES DA FEDERAÇÃO	LIMITE MÁXIMO (°C)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
GO-DF-MT-ES-RJ	12	12	12	10	5	5	5	8	8	10	12	12
SP-MG-MS	12	12	12	7	3	3	3	3	5	9	9	12
SUL	10	10	7	7	0	-1	-2	-1	0	7	7	10
NORTE	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
NORDESTE	19	19	19	19	16	16	16	16	19	19	19	19

Na Europa esta propriedade é considerada ainda mais crítica, e as normativas existentes, assim como no Brasil, apresentam limites de aceitação sazonais, para evitar a paralização da comercialização nos períodos de mais baixa temperatura, como podemos observar no último relatório (AGQM;FRIEDRICH,2024) sobre qualidade do biodiesel comercializado na Alemanha. Estes relatórios são publicados anualmente por uma instituição privada, ligada aos produtores de

biodiesel, fundada em 1999, denominado Grupo de Trabalho e Gestão (AGQM, do alemão *ArbeitsGemeinschaft QualitätsManagement e.V.*).

Os cristais formados podem entupir filtros e bicos de injeção, além de conferir ao OD um aspecto opaco, que pode ser confundido com umidade. Normalmente, as moléculas de fontes renováveis possuem ponto de névoa superior ao do ODM, ou seja, iniciam a formação de cristais em temperaturas mais altas que os hidrocarbonetos de origem fóssil.

Deste modo, considerando os dados da tabela 2, apresentados anteriormente, é de se esperar que o tipo de FAME utilizado, e a quantidade misturada, sejam diferentes entre as unidades federativas do Brasil. O mais provável é que esta tabela não seja levada em conta, atualmente, pelos produtores de B100 e formuladores de ODB.

Quanto maior o Ponto de Névoa, maior a tendência de formar cristais já em temperaturas “normais”, causando problemas de injeção, logo, pior a qualidade do combustível.

Deste modo, é difícil imaginar que a formulação arbitrada pela ANP seja possível de ser atendida em todo país, considerando que, na prática do mundo real, a origem do FAME pode ser variada, e o percentual adicionado são os mesmos para todo território nacional, conforme determina a resolução da ANP.

5.3 Análise integrada das propriedades físico-químicas

Independentemente, do tipo de OD considerado, 100% de origem mineral, 100% de origem renovável, ou diferentes misturas entre eles, as propriedades relacionadas à performance do motor são basicamente as mesmas.

O que podemos afirmar é que cada grupo de moléculas, a depender de sua origem, possui propriedades diferentes, as quais podem ser melhores ou piores se comparados entre si. Além disto, elas estão sujeitas a deterioração, também de modo diverso, dependendo se provém de material fóssil ou renovável. Ainda, dentro do grupo de produtos de origem renovável, a origem do material graxo é determinante para a variação das propriedades do B100.

Nesta direção diversos autores realizaram trabalhos comparando as variações destas características. Entre eles podemos citar os artigos publicados por DE QUADROS *et al.* (2011), ASHRAFUL *et al.* (2014), GONCA e DOBRUCALI (2016), WANG, Y. *et al.* (2016), GUTIERREZ OPPE e ROTONDARO (2013), MEJÍA *et al.* (2013), SILITONGA *et al.* (2013), GÜLÜM e BILGIN (2017), KNOTHE e RAZON (2017), ABDALLA (2018), YESILYURT *et al.* (2020), MISHRA *et al.* (2021), SHARMA *et al.* (2021), BUKKARAPU e KRISHNASAMY (2022), PRAK *et al.* (2022), (PALANI *et al.*, 2022); XIAO *et al.* (2023); LUNING PRAK e COWART (2024), e outros.

O cenário apresentado por estes pesquisadores corrobora a dificuldade, praticamente uma impossibilidade, de controlar e homogeneizar adequadamente estas propriedades. Torna-se, portanto, imprescindível limitar, de algum modo, a variedade de matérias primas atualmente permitidas pela legislação brasileira, considerando o ODB produzido atualmente.

Como veremos no item 11, onde abordaremos as perspectivas para viabilização do mercado deste combustível, existem alternativas com potencial de eliminar esta variabilidade nas propriedades finais do combustível, mantendo um certo grau de diversidade nas matérias primas de origem renovável.

6. PROBLEMAS DE PRODUÇÃO E CONSERVAÇÃO DO ÓLEO DIESEL B

Conhecidas as propriedades básicas das moléculas que compõem o ODB, cujos valores, e respectivas faixas de variação, impactam diretamente na performance do motor tipo CI, podemos avançar no conhecimento sobre a origem dos problemas relacionados à produção destas moléculas, assim como, aqueles relacionados à sua estabilidade, desde o momento em que foram produzidas até serem queimadas nas câmaras de combustão dos motores tipo CI, dos consumidores finais, convertendo-se então, idealmente, em CO₂ e H₂O.

O processamento e as matérias primas originais, como já mencionado no item 5.3, têm influência direta na qualidade e conservação do ODB. Portanto, sendo o ODB uma mistura de Biodiesel (BD) e ODM, necessitamos conhecer, ainda que de modo simplificado, o processo e as matérias primas envolvidas em cada um destes produtos, sem deixar de analisar possíveis interações químicas, entre eles, após sua mistura.

6.1 Problemas relacionados às matérias primas de origem fóssil (NÃO renovável)

Talvez, para surpresa de alguns, o problema de conservação de frações de petróleo seja uma novidade. Na verdade, as matérias primas de origem fóssil (NÃO renovável), também apresentam problemas de conservação, e conseqüentemente seus produtos derivados. São conhecidos, de longa data, problemas de conservação do ODM, muito antes de ser cogitada a mistura com BD. No entanto, se trata neste estudo, de avaliar o aumento destes problemas a partir da mistura obrigatória regulamentada pela ANP.

O ODM é formado por uma fração de derivados de petróleo. Esta fração corresponde às moléculas de hidrocarbonetos, já pré-existentes no petróleo, adicionadas às obtidas por uma quebra (craqueamento) de moléculas maiores, seguida de uma separação em frações correspondentes a uma faixa de massas moleculares distintas, utilizando para isto os diferentes pontos de ebulição (destilação). O ODM resulta, então, em uma mistura de compostos entre C₆ e C₃₀, (seis e trinta carbonos, respectivamente), estando os maiores

percentuais, em massa, distribuídos entre C_{10} e C_{24} (PETROBRAS, 2000). No entanto a molécula de referência, para aferição da qualidade do combustível, quanto à performance do motor CI, é o hidrocarboneto com 16 carbonos, a Cetana (C_{16}), conforme ensaio ASTM D613 (ver item 5.2.2).

A composição, propriamente dita, é aferida no ensaio D86 da (ASTM do inglês, *American Society for Testing and Materials*), que determina a proporção entre as frações mássicas obtidas em diferentes pontos de ebulição, emulando assim, o processo de destilação fracionada que ocorre durante a produção dos derivados.

Portanto, o ODM especificado pela RES968, não é composto por um único tipo de molécula, sequer por uma única função química como podemos constatar no trabalho publicado por YANG *et al.* (2024). Trata-se de uma mistura de composição variável que também depende da origem de sua matéria prima, no caso o petróleo. As refinarias formulam uma mistura de diferentes petróleos, para só então iniciar o processo de refino, na tentativa de evitar alterações significativas (mesmo assim elas ocorrem) nas quantidades relativas entre as frações produzidas, assim como, nos ajustes constantes dos parâmetros de operação dos equipamentos.

Na tabela 3 abaixo, a título de exemplo, apresentamos algumas das funções químicas presentes no ODM para diversos usos, nos Estados Unidos, assim como, para uma mistura com 5% de biodiesel, extraídas da tabela 1 do artigo de YANG *et al.* (2024).

Tabela 3 – Funções químicas presentes no ODM e misturas com BD.
Dados extraídos da tabela 1 do artigo de YANG *et al.* (2024)

Compostos químicos presentes	100% ODM	95% ODM + 5% BD
Hidrocarbonetos Saturados (% m/m)	88	74
Hidrocarbonetos Aromáticos (% m/m)	10	19
Resinas (% m/m)	2	7
Asfaltenos (% m/m)	0	0
Ceras (% m/m)	1,7	4,9

Com base nos resultados apresentados na tabela acima, podemos observar a grande influência da adição de BD ao ODM, principalmente

no teor de ceras, resinas e aromáticos. Os efeitos destes acréscimos serão analisados a seguir. Conhecidas as funções químicas com potencial de causar problemas de qualidade no ODM, vamos analisar seus mecanismos de ação.

6.2 Problema relacionados à absorção de água

A absorção de água no OD, dá-se inicialmente, na maioria das vezes, pela presença de hidrocarbonetos aromáticos, os quais são naturalmente higroscópicos. No entanto, esta interação com moléculas de água é fraca e passível de decantação com o tempo.

Portanto, é esperado que o OD absorva a umidade do ar, no interior do tanque de armazenamento, segregando grande parte desta água no fundo, à medida que o fluido permaneça em repouso.

A presença da água no interior do tanque favorece outras reações com o material do próprio reservatório e o desenvolvimento de microrganismos capazes de metabolizar parte dos hidrocarbonetos, produzindo novas espécies químicas. Estas novas espécies químicas (ex. ácidos orgânicos) aceleram o processo de degradação do combustível, gerando uma borra (sólidos + líquidos) depositada no fundo do tanque de armazenamento.

Todos os manuais sobre óleo diesel, mesmo antes da mistura obrigatória com BD, já orientavam sobre este processo de perda de qualidade, recomendando a drenagem constante do tanque e informando sobre os possíveis problemas de performance e manutenção nos motores, devidos à utilização do OD degradado.(PETROBRAS,2000).

É preciso mencionar que os compromissos ambientais assumidos pelas refinarias, ao longo do tempo, relativos à redução do teor de enxofre no óleo diesel, contribuíram com a redução dos compostos aromáticos pelo processo de hidrotratamento do OD, pois o enxofre está normalmente ligado a estes compostos. Após a introdução destes processos, a capacidade de absorção de água do ODM foi reduzida.

Como veremos mais adiante, a adição de BD contribuiu no processo de redução de enxofre, considerando que o produto de origem renovável

possui teores desprezíveis deste elemento químico. No entanto, aumentou a probabilidade de ocorrência, a velocidade, e a intensidade dos problemas relacionados à absorção de água, INCLUINDO A PERMANÊNCIA DESTAS MOLÉCULAS DE ÁGUA EM SUSPENSÃO, dificultando portanto a separação por decantação. Resultado da presença de oxigênio nestas moléculas, o que as tornam mais higroscópicas, assim como, mais propícias a iniciar e propagar reações de oxidação (DO AMARAL *et al.*, 2020; LEONARDO *et al.*, 2025).

6.3 Problemas relacionados à oxidação

Como referido anteriormente, os problemas de conservação do OD já são conhecidos de longa data e sua maioria são decorrentes de processos de oxidação. Esta reação com o oxigênio é capaz de gerar uma série de contaminantes tais como: (I) Gomas, (II) Sedimentos, (III) Ácidos orgânicos, e (IV) Espessantes.

O ODM não absorve naturalmente o oxigênio, no entanto, durante o carregamento dos tanques de estocagem, pelo topo, ar é arrastado e misturado ao combustível pelo jato formado. O carregamento pelo fundo do tanque reduz o volume de ar adicionado e conseqüentemente os problemas de oxidação para o ODM. No entanto, como veremos mais adiante para o BD, o oxigênio já está presente (ligado quimicamente) em cada molécula do combustível, agravando e acelerando o processo de degradação, como nos relata LEONARDO *et al.* (2025) em seu trabalho recentemente publicado.

Podemos considerar os Sedimentos e as Gomas (SGs) como os principais resíduos da oxidação, com potencial de causar danos aos motores CI. As gomas são oligômeros, que mesmo solúveis, quando entram em contato com as partes metálicas internas do motor, que estão em temperaturas elevadas, formam filmes fortemente aderidos, prejudicando o funcionamento e causando danos aos seus componentes. Os sedimentos, por sua vez, causam entupimentos nos filtros e bicos injetores, resultando em perda de performance e interrupção do funcionamento normal dos motores (MAYO;MILL,1988).

A quantidade de produtos de oxidação do ODM é significativamente menor que do ODB, quando consideramos temperaturas mais elevadas, as

quais estão presentes no contexto do motor. Isto é o que nos apresenta o trabalho realizado por SINGER e RÜHE (2014), onde são testadas comparativamente amostras de ODM (B0) e uma mistura com 20% de biodiesel (B20). Na figura 1, apresentada a seguir, podemos verificar os resultados obtidos.

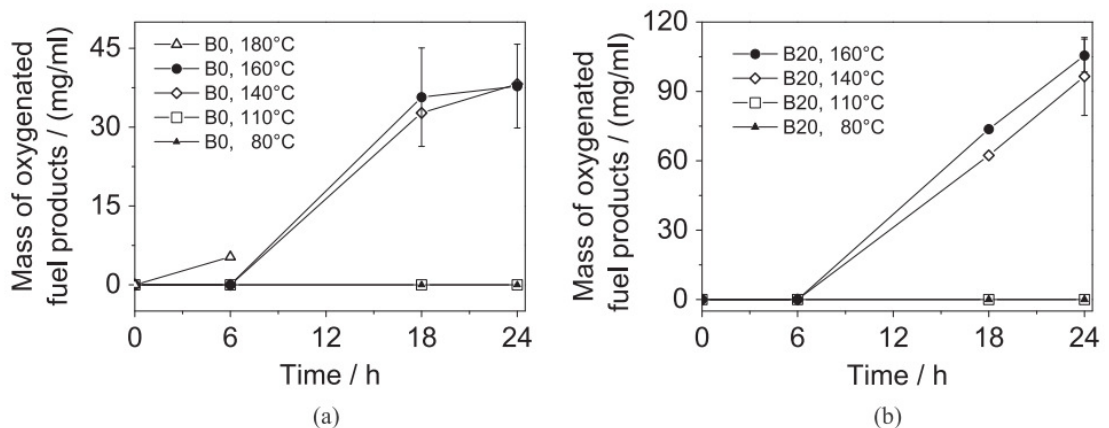


Figura 1: Massa de produtos resultantes da oxidação do combustível a várias temperaturas e tempos de reação, sob fluxo contínuo de ar a 20 L/h. Antes de realizar as pesagens as amostras foram secas por 1h a 110°C. *Imagem copiada da Fig. 3 do artigo de SINGER e RÜHE (2014).*

Com base nos resultados apresentados, podemos concluir que a suscetibilidade ao processo de oxidação, em temperaturas maiores (próximas ao contexto do motor em funcionamento) é significativamente maior, pelo menos o dobro, em misturas com BD do que em ODM.

Apesar de o resultado, deste trabalho, para temperaturas mais baixas, compatíveis com o contexto do armazenamento nos PRC, não indicarem diferença quanto a formação de produtos de oxidação, é preciso considerar que existem outros fatores relacionados à estocagem do OD que não foram analisados no experimento, como a umidade e a extensão do tempo de exposição aos fatores propícios à reação de oxidação.

6.4 Problemas associados às matérias primas renováveis

A diversidade de tipos e de qualidade das matérias primas graxas, renováveis, utilizadas para produção do B100 são determinantes na definição das etapas necessárias para o processo de produção, e consequentemente nos problemas gerados pela falta de qualidade e falha no controle de cada etapa da fabricação.

Para analisar este aspecto, entre outros, KNOTHE e RAZON (2017) publicaram um artigo. Neste trabalho os autores destacam a composição variada das gorduras vegetais utilizadas, em termos de tipos de ácidos graxos, associando esta variação às propriedades do FAME produzido. Outro aspecto abordado pelos autores refere-se aos contaminantes e subprodutos da reação de esterificação, presentes na matéria prima ou resultantes do processamento, que permanecem no produto, e que também são fatores de instabilidade do B100 e suas misturas. A utilização de outras fontes de material graxo de menor valor, tais como, óleo de fritura e gordura animal, ampliam os problemas de processamento, assim como o risco de falhas no controle de qualidade do BD, relatam os mesmos autores. Vários trabalhos, já publicados, abordam o mesmo assunto, demonstrando a relevância deste problema, todos ratificando as conclusões uns dos outros ao longo de anos de estudos e pesquisas realizadas (SANTOS,2010; DE QUADROS *et al.*,2011; BERRIOS *et al.*,2012; ASHRAFUL *et al.*,2014; ABD MANAF *et al.*,2019; RAHMANI *et al.*,2024).

6.5 Problemas associados ao processo de produção do B100

No mesmo trabalho, citado no início do item anterior, publicado por KNOTHE e RAZON (2017), assim como em seu livro, publicado anteriormente, sobre este assunto (KNOTHE *et al.*,2009) foram estudados os processos de produção do B100. As principais etapas deste processo, as fontes de matérias primas, os métodos de análises, e as propriedades do combustível foram escrutinadas.

Com relação à etapa de transesterificação, os autores citam uma série de problemas associados, tais como: (I) o tipo (cinética) da reação química, (II) homogeneidade do contato com o catalizador, (III) heterogeneidade da mistura no reator, (IV) processo de separação entre produtos e reagentes, entre outros. Todos, possíveis fontes de contaminação ao final do processo.

Na figura 2, retirada do artigo de KNOTHE e RAZON (2017) está representado um diagrama simplificado do processo de produção do B100. Nele podemos identificar as diversas etapas com adição de água ao processo, assim como as separações necessárias para especificação

do produto, e reaproveitamento de reagentes não consumidos na reação de transesterificação. Fica evidente, portanto, que a alta variabilidade de matérias primas admissíveis pela regulamentação, associada aos diversos pontos de adaptação e controle do processo, resultam em uma grande probabilidade de problemas associados a produção do B100.

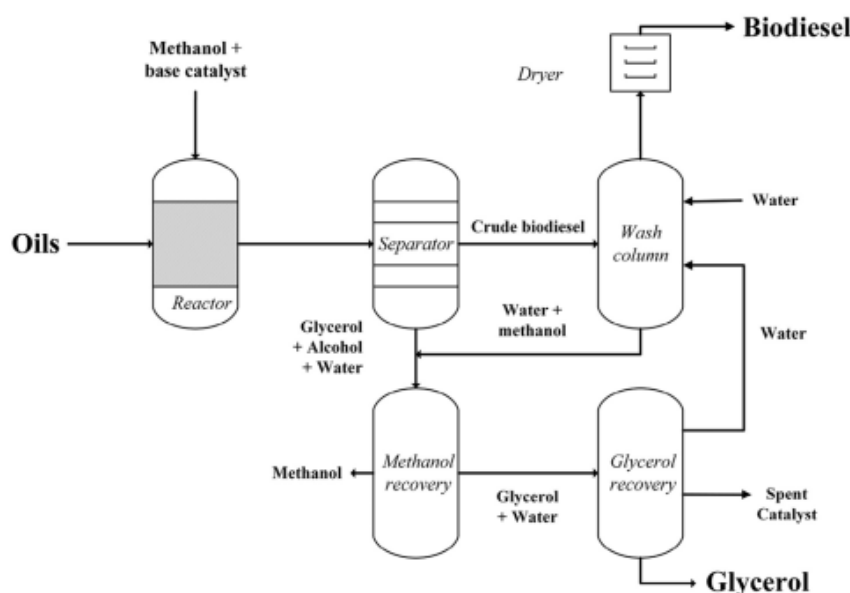


Figura 2 – Processo genérico de produção do B100. No Brasil o tipo de óleo utilizado é, em sua maioria, o de soja refinado, e na Europa é o óleo de canola refinado. Imagem copiada da Fig.2 do artigo de KNOTHE e RAZON (2017).

Ainda que a regulamentação da ANP, no anexo da RES968, determine critérios de aceitação para teor máximo de água e “contaminação total máxima” (grifo nosso), no ODB, resta evidente que qualquer falha neste controle final da qualidade, tem grande probabilidade de resultar na presença de água e subprodutos da reação (parte dos possíveis contaminantes) que sequer são especificados, de modo detalhado, na resolução (BOOG et al., 2011; DE QUADROS et al., 2011).

6.6 Problemas de conservação – relativos à umidade, temperatura e microrganismos

A umidade, além dos problemas já referidos anteriormente, associados à aceleração da oxidação, está relacionada ao desenvolvimento de microrganismos (SIEGERT, 2009; BÜCKER et al., 2018; KOMARIAH et al., 2022) e formação de ácidos orgânicos, os quais corroem os tanques

e acrescentam sólidos suspensos ao combustível armazenado. Os microrganismos, tem potencial, também, de produzir contaminantes (glicoproteínas) capazes de alterar a viscosidade do combustível, afetando diretamente sua performance.

Um extenso trabalho realizado por DO AMARAL (2018) analisa os efeitos combinados de temperatura e umidade sobre o OD, apresentando todas as reações e contaminantes formados no processo de degradação deste combustível. Outros trabalhos publicados pela mesma autora (DO AMARAL *et al.*, 2019; DO AMARAL *et al.*, 2020) tratam deste assunto, sempre tendo como referência a realidade do cenário brasileiro, o que aumenta a relevância de seus resultados para as conclusões do nosso estudo técnico.

6.7 Problemas associados ao armazenamento

Os problemas associados ao armazenamento são os mesmos já referidos nos itens anteriores, no entanto agravados pelo tempo inerente a esta etapa do ciclo econômico.

O tempo de armazenamento tem grande efeito sobre a degradação do ODB, como podemos constatar pelos resultados publicados por LEONARDO *et al.* (2025), e esta degradação está fortemente relacionada com o percentual de BD adicionado a mistura com o ODM.

É importante destacar alguns aspectos apresentados na conclusão do estudo de MCCORMICK e WESTBROOK (2010). Entre eles, a observação de que existe uma forte correlação entre a adição de B100 e o aumento da instabilidade do ODB, independentemente do teor de aromáticos pré-existente no ODM.

Quanto aos problemas relacionados diretamente ao armazenamento faz-se necessário abordar, também, a questão do material dos tanques e instalações, considerando possíveis efeitos de certos metais sobre a estabilidade do ODB e B100. Assim o artigo publicado por FAZAL *et al.* (2022) investigou as mudanças moleculares do B100 e suas misturas na presença de superfícies metálicas. Os resultados apresentados pelos autores indicam a ocorrência de alterações na proporção entre os ésteres metílicos do combustível, o que afeta suas propriedades

finais. Outros autores estudaram o impacto de materiais mais nobres para tanques e instalações de B100 e ODB. O trabalho publicado por ALVES *et al.* (2019) trata da influência do uso de aço inox sobre os aspectos de corrosão e estabilidade oxidativa durante a estocagem do produto. Todos estes aspectos estão hoje à margem das discussões sobre o armazenamento de ODB.

7. PROBLEMAS RELACIONADOS AO FUNCIONAMENTO E MANUTENÇÃO DO MOTOR

Os problemas, até aqui, analisados (item 6 deste estudo) referem-se à conservação da qualidade do combustível ODB, em todo o setor econômico, ou seja: produção, distribuição, armazenamento e comercialização, até o momento antes de ser injetado no cilindro dos motores a combustão interna tipo CI.

É preciso estar atento, portanto, que até este momento, os problemas analisados não se referem ao comportamento do B100 e suas misturas quando são alimentadas à câmara de combustão, pela bomba de injeção. Exceto por alguns aspectos destacados no item 5 deste estudo, onde abordamos as propriedades físicas e químicas, assim como, a presença de alguns compostos inerentes a fabricação ou degradação do B100, comparando o ODM com o BD e suas misturas.

Nesta direção, vários pesquisadores vêm estudando, já há algum tempo, o comportamento do ODM, B100 e suas misturas, quanto à: performance termodinâmica dos motores diesel, composição dos gases resultantes, emissões de material particulado (fuligem), etc. Entre estes trabalhos podemos destacar os artigos publicados por ASHRAFUL *et al.* (2014); GONCA e DOBRUCALI (2016); WANG, Y. *et al.* (2016); WANG, Z. *et al.* (2016); RAJAMOHAN *et al.* (2017); TAMILSELVAN *et al.* (2017); ZHONG *et al.* (2018); MANIGANDAN *et al.* (2019); THIYAGARAJAN *et al.* (2019); SHAHRIDZUAN ABDULLAH *et al.* (2021); AL ZAABI *et al.* (2022); RAJAK *et al.* (2023); KUMAR e CHOUDHARY (2024).

Nestes trabalhos, podemos encontrar resultados positivos e negativos para performance termodinâmica do B100 e suas misturas com ODM. Assim podemos destacar, além do aspecto da renovabilidade, algumas características físico-químicas benéficas, e outras prejudiciais, introduzidas pelo BD, puro ou em qualquer proporção de mistura, quando nos referimos ao funcionamento, propriamente dito, do motor.

Apresentamos a seguir uma tabela indicando algumas características do FAME, e os pontos positivos e negativos, apenas do ponto de vista do funcionamento do motor tipo CI. É importante destacar que não estamos, aqui, considerando todas as possíveis alterações de

composição, decorrentes dos problemas de conservação deste combustível analisadas no item 6 deste estudo, incluindo as que ocorrem dentro do tanque de combustível do próprio veículo de propriedade do consumidor final. Uma tabela mais completa, referente aos aspectos positivos e negativos relacionados a cada uma das propriedades físicas do biodiesel, pode ser encontrada no trabalho publicado por MOHAMMED *et al.* (2023).

Tabela 4 – Aspectos positivos e negativos, introduzidos pelo FAME, quanto a performance termodinâmica e ambiental de motores tipo CI

Característica	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
Presença de dois átomos de oxigênio em cada molécula	Favorece a combustão completa, reduzindo a emissão de material particulado (fuligem), e Monóxido de carbono	• Reduz o poder calorífico do combustível, diminui o rendimento termodinâmico; • Aumenta a temperatura na câmara de combustão, aumenta a produção de NOx
Viscosidade cinemática maior que a do ODM	Não tem aspecto positivo	• Piora a injeção e a pulverização pela bomba injetora, quando comparado com o ODM.
Ausência de enxofre nas moléculas	Diminui a emissão de compostos SOx.	• A ausência de enxofre prejudica a lubricidade do combustível.

Todos estes aspectos listados na tabela 4, acima, são objeto de estudo, resultando em medidas de mitigação por meio de alterações na tecnologia dos motores ou pela utilização de aditivos adicionados a formulação do combustível, ou ainda, utilizados no escapamento de gases, após a combustão (ex. Arla).

Cabe salientar que estes aditivos, referidos acima, não são os mesmos abordados no item 9 deste estudo. Lá tratamos apenas dos aditivos para garantir a qualidade (evitar degradação) durante a produção, distribuição e armazenamento do combustível, portanto não inclui a etapa de consumo dentro do motor. Embora, no item 9, também serão analisados os efeitos causados por aqueles aditivos na performance do motor.

Os problemas apresentados até aqui, indicam a necessidade de incluir os fabricantes de motores e veículos, com motorização diesel, neste

debate. É de fundamental importância, como nos relata (ABD MANAF *et al.*, 2019) em seu artigo que os motores estejam preparados para a utilização do ODB, considerando o percentual de biodiesel determinado pela ANP.

A cada mudança do percentual de BD adicionado é preciso ter uma nova validação dos fabricantes, para que estes mantenham sua garantia em relação ao funcionamento adequado e manutenção dos motores. Não é admissível que estes agentes econômicos estejam ausentes do processo regulatório, de modo explícito, deixando ao PRC toda responsabilidade pelo atendimento a lei do consumidor.

Em outros países, cada fabricante é chamado a se manifestar sobre a aceitação, ou não, da composição do ODB comercializado. Antes de alterar a composição, é necessário que a ANP busque a manifestação formal dos fabricantes, e dê publicidade a ela, para que os consumidores finais não sejam prejudicados, ou que imputem ao PRC a origem de seus problemas de manutenção e performance com o combustível adquirido.

7.1 Princípios básico de funcionamento de um motor CI

Para que possamos associar as variações das propriedades do ODB, escrutinadas no item 6 deste estudo, com os problemas de performance e manutenção dos motores diesel, será preciso conhecer minimamente o funcionamento de um motor tipo CI.

O funcionamento de um motor CI está baseado, resumidamente, no seguinte princípio: “a injeção do combustível deve ocorrer em uma câmara fechada, cujo interior deve estar, previamente à injeção, em condições controladas de temperatura e pressão”.

A pressão no interior da câmara de combustão é definida pelo projeto mecânico, e está expressa pela relação de compressão informada pelos fabricantes. No motor CI, o ar necessário para combustão é comprimido até a pressão necessária, aquecendo-se neste processo, e somente após atingir um determinado valor de pressão e temperatura (no topo do curso do pistão) o combustível é injetado. A temperatura do ar no interior do cilindro é decorrência do próprio processo de compressão

e do calor remanescente do ciclo anterior, acumulado nas paredes do motor.

A partir do momento em que o combustível é injetado na parte superior do cilindro, as propriedades físico-químicas do combustível e o perfil do jato formado (dispersão do combustível) passam a ser os fatores determinantes do funcionamento do motor.

A próxima etapa é a autoignição do combustível injetado. Não existe controle externo para que ela ocorra. Depende exclusivamente do efeito da pressão e temperatura, previamente estabelecidas no interior da câmara de combustão, sobre as ligações químicas do conjunto de moléculas diferentes que compõem o combustível utilizado.

A partir da injeção, alguns problemas de eficiência relacionada à potência do motor, assim como, à produção de poluentes são observados. Um aspecto relevante refere-se a ao perfil do jato formado, seguido da queima do combustível pulverizado no interior da câmara de combustão, como nos relatam LI *et al.* (2017) e BENAJES *et al.* (2013).

Todos estes aspetos referidos anteriormente conduziram os fabricantes dos motores CI, na busca da redução das emissões, ao caminho da sofisticação dos controles internos, tornando os motores mais modernos, cada vez mais dependentes da qualidade constante do combustível utilizado, como já sinalizava PISCHINGER (1996). Portanto, à medida que a tecnologia dos motores avançou, foi reduzindo o espaço para variabilidade das características do OD. Logo, quando se trata dos motores de última geração, a faixa admissível de variação das propriedades do combustível é muito menor, o que agrava o problema enfrentado pelo setor.

Diferentes e sofisticados gatilhos, por meio de sensores eletrônicos, controlam e bloqueiam o funcionamento do motor, se alguma perda de especificação no combustível for detectada. A tecnologia da motorização avançou priorizando a economia de combustível e a garantia quanto ao controle das emissões. Deste modo, se o combustível não acompanhar o desenvolvimento tecnológico dos motores

a frequência de problemas enfrentados pelos consumidores tende a aumentar, como aliás, já está ocorrendo.

7.2 Análise das emissões gasosas

Quanto às emissões gasosas de um motor CI, é preciso analisar os seguintes gases ou vapores que deixam o motor pelo escapamento: (I) monóxido de carbono-CO, (II) óxidos de enxofre-SO_x, (III) óxidos de nitrogênio-NO_x, e (IV) compostos orgânicos voláteis (VOC, do inglês, *Volatil Organic Compounds*) e Hidrocarbonetos (HC) não queimados.

Primeiramente, faz-se necessário destacar que o dióxido de carbono (CO₂) e o vapor de água (H₂O), apesar de também estarem presentes nos gases do escapamento, não são considerados poluentes, visto que sua produção está intrinsicamente ligada a reação de combustão. Qualquer combustível, fóssil ou não, que contenha carbono produzirá e emitirá, idealmente, CO₂ e H₂O, assim como qualquer ser vivo o faz cada vez que respira.

Quanto à emissão de monóxido de carbono (CO), podemos estabelecer uma relação direta entre sua produção e dois fatores presentes na câmara de combustão, no momento da ignição, quais sejam: (I) a quantidade de oxigênio disponível, e a (II) temperatura. A presença do BD resulta na diminuição da produção de CO pela maior disponibilidade de oxigênio, conforme nos informa os resultados do trabalho publicado por RAJAK *et al.* (2023). Neste artigo observa-se que as misturas com BD apresentam uma leve redução na emissão deste poluente em relação ao ODM.

Quanto ao SO_x, a utilização do B100 e suas misturas, contribuem diretamente para redução de sua emissão, visto que o BD não possui quantidades significativas de enxofre em suas moléculas.

Quanto ao NO_x, a utilização do B100 e suas misturas, resulta em emissões maiores, decorrentes do aumento da temperatura na câmara de combustão, em efeito combinado com a maior quantidade de oxigênio disponível.

Quanto ao HC não queimado e VOC, a adição de B100 resulta na redução da emissão destes poluentes, em função da disponibilidade excedente de oxigênio, o que favorece a queima completa do combustível.

Por fim, o que podemos depreender dos parágrafos anteriores é que existem prós e contras quando analisamos o uso do BD puro ou em misturas. Neste sentido, vários trabalhos de pesquisa têm sido publicados, entre eles podemos citar NABI *et al.* (2006); ROY *et al.* (2014); NABI *et al.* (2017); PALANI *et al.* (2022); RAJAK *et al.* (2023); BIRHANU e ZELEKE (2024); LV *et al.* (2024).

7.3 Análise quanto à qualidade da combustão

A qualidade da combustão em um motor CI está relacionada aos aspectos citados no item anterior, adicionando-se dois tópicos importantes, quais sejam: (I) distribuição do combustível, no interior do cilindro, após a injeção, e (II) o “*delay*” (defasagem) entre o momento da injeção e da ignição.

A coordenação destes dois momentos, em combinação com a composição correta do combustível, será determinante na performance do motor e no máximo rendimento termodinâmico, assim como na redução das emissões de poluentes. Nesta linha de pesquisa podemos citar o trabalho publicado por SHAHRIDZUAN ABDULLAH *et al.* (2021).

Considerando o progresso tecnológico dos motores CI, já referido no item 7.1, existe cada vez menos espaço para variação na composição e propriedades dos combustíveis para este tipo de motor. Atualmente, não existe, pela regulamentação da ANP, restrição quanto a origem da matéria prima renovável para produção do FAME no Brasil. Este fato dificulta, ou até mesmo, impede que diversos parâmetros de projeto e operação estabelecidos pelos fabricantes de motores, sejam ajustados para que a queima do combustível seja satisfatória. É urgente que esta questão seja analisada pela agência reguladora, em conjunto com os fabricantes.

7.4 Análise quanto à oxidação de componentes do motor

O principal problema relacionado a oxidação de componentes do motor decorre da presença de gomas e ácidos orgânicos (ver item 6.3). Estes

resíduos, principalmente as gomas, resultantes de processo de oxidação do combustível são solúveis, portanto não ficam retidas nos filtros. Quando alcançam as partes quentes do motor se depositam sobre as superfícies metálicas polimerizando e criando um filme bastante aderido que compromete o funcionamento dos componentes do motor e favorecem a formação de material particulado, quando depositadas no interior do cilindro. Diversos aspectos relacionados a corrosão em componentes mecânicos de motores diesel, utilizando diferentes proporções de B100 foram estudadas por LV *et al.* (2024) e LEONARDO *et al.* (2025).

7.5 Análise quanto à entupimentos de filtros e bicos injetores

Quanto aos entupimentos de filtros e bicos injetores, o trabalho publicado recentemente por LEONARDO *et al.* (2025), nos fornece resultados importantes relacionando estes problemas, ao percentual de BD adicionado ao ODM, assim como, ao tempo de armazenagem, os quais resultam na maior formação de gomas e sedimentos. Neste artigo, os autores constataram que a taxa de aumento de gomas e sedimentos diminui com o aumento do percentual de B100 adicionado à mistura, no entanto, sempre será positiva e maior que a do ODM, considerando os mesmos tempos e condições de armazenamento.

O entupimento dos filtros e bicos injetores poderá resultar diretamente dos sedimentos presentes no combustível, ou indiretamente, pelos depósitos formados a partir das gomas solúveis, que passam pelos filtros e se depositam sobre as superfícies internas metálicas aquecidas, incluindo a bomba e bicos de injeção.

8. CONTROLE DA QUALIDADE – ABRANGÊNCIA E RESPONSABILIDADES

Com base nas informações compiladas e analisadas nos itens 5, 6 e 7 deste estudo, podemos concluir que o ODB, em função dos avanços tecnológicos dos motores CI, é um produto cada vez mais “PERECÍVEL”, com prazo de validade menor que o ODA e o ODC, e que requer condições especiais para seu armazenamento, em todas as etapas de sua vida útil, assim como, a observância de um prazo de validade menor, à medida que o percentual de B100 adicionado for aumentando, requerendo, eventualmente, sua devolução e reprocessamento pelos produtores deste combustível.

O controle de qualidade do ODB, no Brasil, está estabelecido nas RES968 e RES978. Na realidade a RES968 contém a integralidade das normativas neste sentido, tendo a RES978, publicada em 9 de dezembro de 2024, apenas caráter transitório, suspendendo, “não cancelando” (grifo nosso), o artigo 13º da RES968, o qual trata da obrigação do Transportador-revendedor-retalhista (TRR) de realizar análises de amostra representativa, para emissão de Boletim de Conformidade do combustível comercializado. Parece que, ao menos por enquanto, os TRR livraram-se de garantir a qualidade de um combustível, reconhecidamente difícil de armazenar em condições ideais, isolando no mundo real, cada vez mais, os PRC como únicos responsáveis pela conservação da qualidade do ODB no Brasil.

Cabe destacar, preliminarmente, que os fabricantes de veículos, assim como os consumidores finais, não são, atualmente, atores deste controle, e conseqüentemente estão isentos de qualquer responsabilidade pela performance deste produto. Esta condição deve ser revista, já que ambos desempenham papéis importantes para aprovação e conservação da qualidade deste produto, respectivamente.

A seguir detalhamos, o embasamento legal do papel exercido por estes atores, incluindo os papéis dos consumidores e fabricantes de veículos ainda não envolvidos na regulamentação vigente. Pretendemos, nos itens que seguem, analisar o papel imposto pela regulamentação a cada agente econômico, expondo as falhas e os mecanismos de transferência da responsabilidade, resultante das

práticas de mercado adotadas por cada um deles, sem deixar fora os transportadores, fabricantes de veículos e consumidores finais, atualmente meros espectadores, possuidores de direitos e isentos de obrigações.

8.1 Papel das Refinarias

As refinarias, como produtoras autorizadas do OD dos tipos ODA, ODB e ODC, previstos na RES968, devem garantir a qualidade do OD, dentro dos padrões definidos no anexo da resolução citada, emitindo um “Certificado de Qualidade”, e realizando acompanhamento frequente de seus estoques de produto.

É preciso reconhecer o fato de que uma refinaria de petróleo é, normalmente, um ambiente industrial com recursos tecnológicos de última geração e alta disponibilidade de infraestrutura laboratorial, além de recursos humanos qualificados, para realização de análises e emissão de certificados de qualidade.

Dentre os parâmetros especificados pelo Anexo da RES968, destacamos dois que estão sob a responsabilidade, quase que exclusiva da refinaria, quais sejam:

- a) Composição efetiva da fração denominada “óleo diesel mineral”, definidos pelos percentuais recuperados nos ensaios de destilação ASTM-D86 e ASTM-D7345;
- b) Teor de enxofre máximo do ODM enviado para posterior mistura com o B100;

Os demais parâmetros, no caso do ODB, também podem ser afetados pelas refinarias, mas nunca serão de sua exclusiva responsabilidade.

Analisando os parâmetros listados acima é preciso ter em mente que as refinarias sofrem constante pressão de demanda por OD, e que as unidades de refino no Brasil não conseguem abastecer a demanda nacional, necessitando importar parte deste combustível. Existe um *trade-off* permanente, nas refinarias entre volume de produção e aumento da massa molecular média do ODM produzido. Para produzir

grandes volumes é necessário reduzir o peso molecular médio do produto.

Outra característica sob exclusiva responsabilidade dos refinadores é o teor de enxofre. A legislação ambiental vem exigindo a redução do percentual de enxofre no combustível. Esta redução tem efeitos benéficos quanto às emissões de SO_x, no entanto afetam negativamente outras propriedades do combustível, quais sejam: (I) a lubricidade, e (II) o caráter bactericida deste elemento químico.

As refinarias, estão autorizadas, pela RES968 no seu artigo 3º, a realizar a mistura com o B100 e comercializar diretamente o ODB para as distribuidoras. No entanto, abrem mão deste “direito” (grifo nosso) e comercializam apenas o ODM, deixando a mistura com o B100 para as distribuidoras. Assim, evitam o armazenamento de B100 e ODB.

8.2 Papel dos Produtores de B100

A produção de B100 é regulamentada pela RES920, a qual estabelece os padrões de qualidade do B100 ofertado ao mercado, assim como as responsabilidades das empresas produtoras. Destacamos, a seguir, as principais propriedades relacionadas aos problemas de conservação.

a) Viscosidade cinemática. Esta propriedade depende, basicamente da matéria prima graxa utilizada pelo produtor de B100. A RES920 admite uma faixa de variação muito grande (entre 3 e 5 mm²/s), o que, dependendo do percentual presente no ODB e da tecnologia de injeção, poderá resultar em problemas de performance do motor CI. É evidente, que esta faixa ampla de variação se destina a acomodar as diversas fontes admitidas de matéria graxa;

b) Teor de água. Atribuímos relevância a esta propriedade do B100 devido ao fato de que o próprio processo de fabricação do FAME resulta na água como um dos produtos da reação de transesterificação. Além da água produzida na reação temos as diversas etapas de separação e purificação do FAME, as quais envolvem lavagens com água. Podemos, então supor que qualquer falha no controle deste processo poderá resultar na presença de água no produto comercializado.

- c) Ponto de entupimento de filtro a frio (PEFF). Esta propriedade, também está relacionada ao tipo de matéria graxa utilizada na produção do FAME. Neste aspecto é importante destacar uma diferenciação, assumida pela ANP, quanto ao local de comercialização do ODB, com base nas temperaturas médias de cada região do Brasil em cada mês do ano. Deste modo, na tabela II da RES920, estão definidas temperaturas máximas admissíveis para esta propriedade. Esta tabela, estabelece, de algum modo, restrições à comercialização de ODB entre regiões diferentes do país, e em diferentes meses do ano. O que não parece estar sendo monitorado de modo adequado pelos responsáveis pela qualidade deste produto.
- d) Teores de contaminantes, tais como: Glicerol, Monoacilglicerol, Diacilglicerol, triacilglicerol, metanol, etanol, todos resultantes de reação incompleta. A presença destes componentes no B100, são decorrentes do controle do processo de produção (reação e purificações), assim como, do cuidado no transporte compartilhado entre insumos (reagentes) e produto. Estes contaminantes químicos são os principais responsáveis pela alta atração por moléculas de água durante o armazenamento, assim como pelo desenvolvimento de microrganismos e formação de acidez livre no ODB.

O produtor de B100 é, portanto, responsável exclusivo por um conjunto de propriedades determinantes da qualidade final do ODB entregue ao consumidor final. Como seu produto não pode ser comercializado diretamente ao consumidor, sua responsabilidade é totalmente transferida para a etapa seguinte de formulação do ODB. Independentemente, do percentual de participação na qualidade final do combustível entregue ao consumidor final, o produtor/importador de B100 deve emitir um “Certificado de Qualidade” fundamentado em análises realizadas diretamente em amostras do seu produto armazenado.

8.3 Papel das Distribuidoras

Segundo a determinação da RES968, artigo 3º, as distribuidoras estão autorizadas, juntamente com as refinarias, a realizar a mistura do ODA e/ou ODC com o B100, para formulação do ODB.

Como as refinarias, na prática, abrem mão deste “direito” (grifo nosso) de incorporar, em seu faturamento, mais esta etapa de formulação do produto, resta às distribuidoras, como última instância, cumprir este papel previsto na regulamentação.

No entanto, o que se observa, pela prática corrente nas distribuidoras, é o firme propósito de evitar o estoque de ODB, realizando a mistura diretamente nos caminhões-tanque posicionados em suas ilhas de carregamento. Ou seja, o “direito obrigatório” (grifo nosso) é exercido sem gerar armazenamento do produto.

Parece que os agentes econômicos, ainda que respeitando as normativas da ANP, conseguem livrar-se do armazenamento do ODB, sempre repassando ao próximo agente econômico, da cadeia de fornecimento, esta responsabilidade.

As distribuidoras, emitem um “Boletim de Conformidade”, fundamentado em “Certificados de Qualidade” do ODA/ODC fornecido pelas Refinarias e do B100 recebido de seus produtores autorizados pela ANP. No entanto, a RES 968 em seu artigo 12º alínea II, permite a formulação de uma amostra sintética, elaborada em laboratório, seguindo a mistura exata prevista na legislação entre ODA/ODC e B100. Sobre esta amostra “sintética” são realizados os ensaios para aferição da qualidade do ODB carregado nos caminhões.

Deste modo, o sistema atual de garantia da qualidade, definido pela ANP, sequer verifica o percentual de B100 efetivamente adicionado, pois a amostra analisada é formulada com pipetas e/ou balanças, em ambiente de laboratório, ou seja, em momento e local diferentes em relação ao produto carregado. Portanto, eventuais problemas nos equipamentos e instrumentos do sistema de mistura em linha nunca serão verificados.

Assim, cabe destacar que o produto ODB “efetivamente formulado e carregado” nos caminhões, na prática, até este momento, em toda cadeia de produção, nunca é amostrado e analisado. Apesar de esta possibilidade, estar prevista pelo mesmo artigo referido no parágrafo anterior, em sua alínea I.

Entende-se o porquê de esta amostragem direta não ser prática corrente nas distribuidoras. O tempo necessário para coletar amostra no caminhão, realizar as análises, e só depois liberar o caminhão, seria um sério limitador da capacidade de despachar cargas do terminal, gerando filas de caminhões e insatisfação geral dos transportadores e distribuidores. Criou-se então a alínea II, que elimina este problema e despacha, o mais rapidamente possível, o ODB (nunca efetivamente amostrado e analisado) para o TRR e/ou o PRC.

8.4 Papel dos Transportadores

Os transportadores, sempre premidos pelas questões de tempo e sujeitos as condições imprevistas de nossas rodovias e sistemas viários urbanos, recebem sua tarefa de transportar combustíveis para os TRR e PRC. As cargas, normalmente são mistas (mais de um tipo de combustível) e divididas em compartimentos nos caminhões tanques.

É fácil perceber as diversas possibilidades de contaminação durante esta fase da distribuição. Na prática não se observa o cuidado com a inspeção prévia dos compartimentos, tão pouco com a estanqueidade dos mesmos, de modo a impedir contaminações entre compartimentos.

Considerando que não existe nenhuma previsão regulamentar, na RES968, ou RES920, que responsabilize diretamente o transportador sobre a qualidade do ODB, é de se esperar que esta possível falta de atenção não seja detectada, e a qualidade deste combustível continue sem uma efetiva monitoração pelo sistema de garantia da qualidade.

Apesar de todas as vulnerabilidades abordadas acima, o Transportador, não coleta amostra, não analisa amostra e não emite nenhum documento referente a qualidade do produto transportado. Ele apenas repassa o “Boletim de Conformidade” entregue pela distribuidora, o qual, na verdade não foi emitido com base no produto que de fato foi carregado

no caminhão. Assim, todo controle de qualidade do ODB, efetivamente recai, como veremos nos itens seguintes, sobre o PRC e o TRR.

8.5 Papel dos PRC e TRR

Finalmente o ODB chega aos agentes econômicos cujo relacionamento se dá diretamente com o consumidor final. O TRR normalmente opera com consumidores finais que comprem e estocam quantidades de combustível suficientes para abastecimento de frotas de veículos de transporte ou máquinas agrícolas ou de serviços de terraplanagem. Não comercializam apenas ODB, podendo atender consumidores de ODA e ODC.

Mais recentemente, com a publicação da RES978 a responsabilidade direta sobre a qualidade dos estoques de ODB nos TRR foi suspensa. Ou seja, o único estoque de ODB de médio e longo prazo, no mundo real, no território brasileiro, está nos PRC. Este, portanto é o único a ter que garantir a manutenção da qualidade do ODB durante o armazenamento, pelo tempo necessário à sua comercialização final.

Cabe reiterar que, até este ponto, o ODB propriamente dito, nunca foi amostrado ou analisado de fato, ainda que todas as amostragens e análises preconizadas pela RES 968 tenham sido realizadas e os certificados e boletins de conformidade tenham sido emitidos.

Tal conclusão é surpreendente, mas reflete a realidade prevista no sistema de garantia da qualidade em vigor no Brasil.

8.6 Papel dos Fabricantes de Veículos

Assim como no caso dos transportadores, não existe qualquer menção na regulamentação do ODB sobre a responsabilidade dos fabricantes dos veículos e motorizações tipo CI, consumidoras do ODB. A única exceção, deve-se aos fabricantes para motorização de embarcações, os quais estão dispensados de seguir as normativas da RES968, como definido no seu artigo 1º, parágrafo 2º. Portanto, não precisam conviver com os problemas relacionados ao BD.

Considerando os aspectos apresentados no item 7 deste estudo, não há como deixar de incluir os fabricantes de veículos nesta normativa. É necessária e urgente a manifestação oficial dos fabricantes de

veículos e motores CI sobre a composição do ODB e as garantias oferecidas aos proprietários e consumidores finais.

Em outros países, apesar da não obrigatoriedade, uma associação nacional os fabricantes de B100, oportuniza aos fabricantes de veículos manifestarem-se publicamente sobre a adequação ou não de seus motores às diversas composições entre ODM e BD (AGQM,2022).

8.7 Papel do Consumidor Final

Ao contrário do senso comum, o consumidor final não está totalmente isento, sobre a qualidade do ODB consumido. À medida que o caráter perecível do combustível, aumenta com o percentual de BD adicionado, o consumidor deve estar atento ao prazo de validade e consequentemente evitar manter combustível estocado, ainda que no tanque de seu veículo, além do prazo recomendado.

Além disto, a condição climática (umidade e temperatura) em que o veículo permanece estacionado por períodos longos e médios de tempo, e a região em que foi realizado o abastecimento (ver tabela II – Anexo da RES968), podem resultar em problemas de qualidade, os quais dependendo da sensibilidade aos parâmetros de qualidade combustível, inerentes à tecnologia empregada pelo fabricante do seu veículo na injeção e controle de combustão, poderão resultar em travamento do motor e perdas de performance, assim como problemas de manutenção.

9. MEDIDAS MITIGADORAS PREVISTAS NA REGULAMENTAÇÃO ATUAL

O reconhecimento dos problemas de armazenamento do ODB está implícito nas medidas mitigadoras introduzidas na RES920 e na RES968, que tratam do B100 e suas misturas, respectivamente.

Ao lado de medidas de monitoramento contínuo dos estoques de produto, incluindo coleta e análises de amostras, e definição de algumas características sinalizadoras da perda de qualidade, constantes de ambas as resoluções, a principal medida mitigadora, com potencial de interferência na qualidade do produto, é a utilização de aditivos específicos para aumentar a vida útil do combustível durante o seu armazenamento. Neste item, pretendemos apresentar estas medidas e analisar seus efeitos durante o armazenamento do ODB, assim como, os possíveis efeitos secundários quanto ao seu uso como combustível.

Portanto, quando aditivamos um combustível, ou uma fração dele, pensando em sua conservação é preciso avaliar, concomitantemente, o efeito deste aditivo sobre seu uso. São situações diversas em que a molécula adicionada poderá apresentar efeitos antagônicos. Tomando por base o texto da RES920, identificamos uma única obrigatoriedade quanto a aditivação do B100. Trata-se de “Antioxidantes”. Esta determinação consta dos artigos 6º e 7º desta resolução.

O artigo 6º determina que o produtor de biodiesel deve adicionar antioxidante, independentemente da matéria prima utilizada na fabricação. Além disto define quatro condições que devem ser atendidas: (I) ser isento de elementos formadores de cinzas e organometálicos, (II) ser compatível com óleos lubrificantes aplicáveis aos motores do ciclo diesel, (III) não causar efeitos colaterais ao funcionamento do motor, sistema de exaustão e pós-tratamento, e (IV) não afetar a especificação do biodiesel, mantendo o produto dentro dos limites definidos no anexo. Este mesmo artigo, no seu parágrafo 1º define que esta obrigatoriedade permanece, ainda que o biodiesel produzido atinja o limite mínimo da característica “Estabilidade à oxidação a 110°C”, definido na tabela I do Anexo da RES920. Outra determinação deste artigo, consta do parágrafo 3º, o

qual orienta que o produtor deverá informar o tipo e a concentração do aditivo utilizado, no certificado de qualidade por ele emitido.

Analisando as determinações referidas acima temos algumas considerações a fazer, no sentido de avaliar a aplicabilidade delas, as possíveis consequências de sua utilização e a efetividade dos resultados esperados.

Antes de abordar os possíveis efeitos de aditivos antioxidantes será importante conhecer seus tipos e mecanismos de ação. Assim temos, basicamente, quatro tipos: (I) Primários. Normalmente compostos fenólicos que removem ou inativam radicais livres fornecendo átomos de H para reação. Exemplos, BHT (butil-hidroxi-tolueno), BHA (butil-hidroxi-anisol), (II) Sequestradores de oxigênio. Compostos que se ligam aos átomos de oxigênio de modo estável, tornando-os indisponíveis para outras reações. Exemplos, Ácido ascórbico e derivados, (III) Biológicos ou enzimáticos. Compostos com ação similar aos sequestradores de oxigênio. (IV) Quelantes de íons metálicos. Compostos que formam complexos com íons metálicos que normalmente estão envolvidos com a catálise de lipídios e outros compostos orgânicos. Exemplos, Ácido cítrico e Ácido Etileno Diamino Tetra-Acético (EDTA, do inglês *Ethylenediamine tetraacetic acid*).

Pelo menos dois dos mecanismos listados no parágrafo anterior são, a princípio, diretamente conflitantes com a utilização do B100 e suas misturas. Considerando que o ODB é um combustível, quanto maior a disponibilidade de oxigênio livre para reação de combustão melhor será a queima e menor a produção de resíduos da queima incompleta. Preliminarmente, deveríamos, portanto, descartar aditivos dos tipos II e III. Restariam então os tipos I e IV, que ainda assim poderiam ser questionados sobre os efeitos durante a queima na câmara de combustão.

Apesar de a resolução 920, não tecer qualquer comentário técnico a respeito dos tipos aceitáveis de antioxidantes para o biodiesel, considerando a tradição da indústria produtora de óleo vegetal, na utilização do tipo I, como antioxidante para óleo vegetal refinado

para uso alimentício, depreendemos que os produtores de biodiesel, devem em sua maioria, estar utilizando este tipo de aditivo antioxidante. Se esta suposição, corresponder de fato a realidade, não existe efeito conflitante direto entre a molécula do aditivo e a reação de combustão. Conhecidos os mecanismos de ação dos antioxidantes e estabelecido que o de uso mais provável seja o tipo I, podemos então analisar o texto da RES920. Vamos nos concentrar na determinação constante do caput do artigo 6º e em seu parágrafo 1º de utilização do aditivo independentemente da matéria prima utilizada na fabricação do B100 e da estabilidade à oxidação a 110°C, respectivamente.

Vários pesquisadores têm trabalhado sobre os efeitos dos antioxidantes, tanto no armazenamento do B100 e suas misturas, quanto nos efeitos resultantes da combustão em termos de performance do motor CI e suas emissões gasosas (KARVALAKIS *et al.*, 2011; BALAJI; CHERALATHAN, 2014; RAWAT *et al.*, 2014; RIZWANUL FATTAH *et al.*, 2014; RASHED *et al.*, 2016; SATHIYAMOORTHY; SANKARANARAYANAN, 2016; ZHOU *et al.*, 2016; KUMAR *et al.*, 2018; DEVARAJAN *et al.*, 2020).

Entre estes pesquisadores podemos citar um trabalho mais recente, publicado por MOHAMMED *et al.* (2023). Nele, os autores concluem que a utilização de aditivos em geral, especialmente os antioxidantes resultam em benefícios para conservação do combustível e emissão de NOx, no entanto, são prejudiciais para outros parâmetros de performance e emissões dos motores tipo CI, apesar de reportarem resultados controversos a este respeito. De qualquer modo, diante da conclusão destes autores, a determinação da ANP de adicionar o antioxidante em qualquer situação, denota pelo menos uma certa negligência quanto aos possíveis efeitos adversos do uso destes aditivos. Ainda mais, quando a resolução não exige uma análise prévia do tipo e da quantidade de antioxidante utilizado. Basta a informação por parte do produtor de qual o aditivo optado e a dosagem aplicada. Os compromissos assumidos pela livre escolha do produtor, determinados nos incisos I, II, III, e IV do caput do artigo 6º, são genéricos e subjetivos, beirando a ingenuidade quanto a sua efetiva aplicação prática.

10. ANÁLISE COMPARATIVA COM OUTROS PAÍSES

Quando analisamos, comparativamente, a questão da qualidade e conservação do BD e suas misturas com ODM, em outros países, é preciso considerar três aspectos fundamentais, quais sejam: (I) clima, (II) matérias primas renováveis utilizadas, (III) sistema de regulamentação e controle de qualidade utilizado.

Cada aspecto, listado acima, foi resumidamente abordado nos itens abaixo. No entanto, podemos antecipar nossa conclusão referente a comparação do Brasil com outros países. Resta evidente, que o controle de qualidade definido pela ANP, no Brasil, é incipiente, falho e eivado de pressões políticas dos agentes econômicos com maior poder de barganha, e conseqüentemente, incapaz de gerar a confiança nos produtos B100 e ODB.

É preciso dizer que, em função destas falhas, as responsabilidades recaem sobre o último elo desta cadeia de fornecimento, o PRC. Ao contrário dos países apresentados no item 10.3 abaixo, onde fica evidente que a principal responsabilidade foi assumida voluntariamente, diga-se de passagem, pelos produtores de B100 e suas misturas. Estes agentes econômicos reconhecem que os problemas de conservação estão inexoravelmente ligados a produção e armazenagem dos produtos contendo FAME, portanto para resolver o problema foi necessário certificar o produtor, os distribuidores, os laboratórios e assumir a solução dos problemas. No Brasil a ANP mostra-se incapaz de realizar esta tarefa. Apesar do poder coercitivo, não possui pessoal técnico em quantidade e qualidade para garantir a qualidade do B100 e ODB, sua atuação é burocrática e punitiva, sem levar em conta, ou apoiar, os agentes econômicos na solução dos problemas por eles enfrentados. A omissão da ANP em convocar os fabricantes de motores diesel, um a um, para se manifestarem publicamente sobre o B100 e ODB por ela regulados, demonstra a inépcia desta agência em cumprir sua missão institucional.

10.1 Aspectos relacionados ao clima

As características do clima são fundamentais no estabelecimento de regras e diretrizes para o controle de qualidade do BD e misturas

com ODM. Dois aspectos do clima são de extrema importância para conservação da qualidade do combustível de fonte renovável, são eles: umidade e temperatura do ar.

Na União Europeia (EU, do inglês *European Union*), dentro de cada país, as variações de umidade e temperatura estão mais relacionadas às estações do ano, do que em relação à posição geográfica. No caso de países continentais como os Estados Unidos (USA, do inglês *United States of America*) e Brasil, além da variação decorrente das estações do ano, temos regiões geográficas com climas muito diversos.

10.2 Aspectos relacionados às matérias primas renováveis

Considerando os três países analisados, as matérias primas graxas predominantes são os óleos vegetais produzidos a partir de soja nos climas tropicais e subtropicais e canola nos climas temperados. Todas outras opções de matéria prima são possíveis, mas percentualmente pouco utilizadas.

O tipo de matéria prima graxa, não é o único fator determinante da qualidade e conservação do FAME. Como já abordado nos itens 6.4 e 6.5 deste estudo, a ele junta-se o tipo de processamento, ambos, determinantes dos futuros problemas de qualidade e conservação do B100.

10.3 Aspectos relacionados ao sistema de regulação e controle da qualidade

A regulação e o controle da qualidade parecem ser o fator determinante para a viabilização técnica do BD. Eles criam o ambiente de confiança no mercado consumidor e a possibilidade de adesão dos fabricantes de motores a este combustível de fonte renovável. Os USA e a Alemanha, foram os pioneiros na inclusão do BD em sua matriz energética. Eles vivenciaram os mesmos problemas enfrentados, atualmente, pelo Brasil, e somente com a criação de associações voluntárias e independentes de produtores de BD conseguiram obter algum sucesso no controle de qualidade do B100 e suas misturas com ODM. No artigo publicado por GUTIERREZ OPPE e ROTONDARO (2013), os autores realizaram uma análise detalhada e comparativa entre o

Brasil, USA e Alemanha, os principais países de referência para produção e comercialização de BD e suas misturas com ODM.

10.3.1 Cenário atual na União Europeia (EU)

A EU possui, atualmente, um conjunto de diretrizes para a utilização de BD e suas misturas. A norma regulamentadora para a produção e misturas de FAME é a EN14214, cuja primeira publicação ocorreu em 2004. Mesmo a Alemanha que iniciou sua regulamentação em 1999, portanto anteriormente à EU, está se adequando às diretrizes europeias. Quando realizamos a pesquisa para elaboração deste trabalho o percentual de mistura definido pelas diretrizes europeias era de 7% de B100.

10.3.2 Cenário atual na Alemanha

É impossível analisar o mercado de biodiesel sem incluir a Alemanha. Este país foi um dos pioneiros na utilização deste combustível, vivenciando os mesmos problemas de todos outros países de clima frio. Ao aderir as regras da União Europeia (EU, do inglês *Europe Union*), em 2011, passou a enfrentar novos problemas em função da mistura de biodiesel com diesel de origem mineral, já que desde o início optou por comercializar o B100, deixando ao consumidor final a liberdade de optar pelo percentual de mistura desejado, realizada diretamente no tanque do veículo em abastecimento.

Cabe destacar o papel fundamental desempenhado pela AGQM (do alemão, *Arbeitsgemeinschaft Qualitaetsmanagement Biodiesel e.V*) criada pelos produtores de biodiesel para garantir a qualidade e aceitabilidade deste combustível renovável (FISCHER *et al.*, 2012; AGQM, 2023; BEUTH-VERLAG, 2023; AGQM; FRIEDRICH, 2024). Esta associação, privada, também foi a primeira a preocupar-se com os fabricantes de motores CI, e oportunizar sua manifestação voluntária, sobre a adequação de seus motores ao B100 ou suas misturas. Nesta direção a AGQM publica em seu site a lista de todos os fabricantes de motores. Os fabricantes podem simplesmente não se manifestar, assim como, indicar que não garantem nenhum modelo para uso de B100 em qualquer percentual. Ou ainda, que garantem para modelos específicos percentuais também específicos.

10.3.3 Cenário atual nos Estados Unidos/Canadá

Os USA, pioneiros na produção e utilização do BD, como combustível, assim como a Alemanha passou pelos mesmos problemas enfrentados pelo Brasil. Neste país e no Canadá, atualmente existe uma associação voluntária dos produtores de BD denominada de *National Biodiesel Accreditation Commission* – BQ-9000.

Esta associação, privada, credencia Produtores, Comercializadores (distribuidores) e Laboratórios envolvidos com B100 e suas misturas com ODM. Ela, também, publica manuais e presta assessoria à todos seus membros, com o objetivo de conferir credibilidade e segurança ao BD e suas misturas (BQ-9000, 2015; 2021). O principal objetivo é primeiramente reconhecer que existem problemas de conservação da qualidade, relacionados ao produto B100 e suas misturas. Além disto demonstrar comprometimento com esta qualidade para gerar confiança no consumidor final e nos fabricantes de veículos diesel, de que não serão prejudicados.

Não localizamos em nossa pesquisa, legislação nacional americana obrigando a mistura de B100 ao ODM. Elas podem variar assim como na Alemanha de 2% a 100% a critério do consumidor ou de alguma legislação local.

11. PERSPECTIVAS FUTURAS PARA O ÓLEO DIESEL B, NO BRASIL

Conhecido o panorama geral sobre o ODB no Brasil, e dos combustíveis renováveis e suas misturas em alguns países, apresentamos a seguir algumas perspectivas para este mercado no futuro. Trata-se aqui de levantar caminhos possíveis para solução dos problemas que motivaram este estudo e analisar algumas vantagens e desvantagens de cada um. Todas as possibilidades apresentadas são conhecidas, e eventualmente já testadas, no Brasil e em outros países.

Nosso objetivo é contribuir com o debate necessário para adequar nossa legislação e política nacional de energia renovável. Existem diversas alternativas para alcançar os objetivos de renovabilidade de combustíveis líquidos. Portanto, devemos considerar todas estas opções em busca de um sistema eficiente e justo.

11.1 Outros combustíveis renováveis para motores CI

Relembrando o contexto histórico dos motores CI, abordado no item 5.1 deste estudo, o motor posteriormente denominado “ciclo diesel”, em sua primeira exibição, em Paris, no ano de 1900, utilizou óleo de amendoim como combustível, portanto um produto renovável. Não existia, ainda, o combustível fóssil hoje denominado “Óleo Diesel”. Logo, não devemos estranhar de que os motores tipo CI possam utilizar uma gama bastante ampla de diferentes combustíveis renováveis.

No entanto, nunca devemos esquecer, que em 1900 não havia preocupação com a qualidade da queima e com suas emissões. O avanço tecnológico dos motores CI, assunto abordado em detalhes no item 7.1 deste estudo, pressionado pelo maior rendimento e menor emissão, conduziu à maiores restrições em relação às propriedades do combustível, limitando, conseqüentemente, a sua natureza química e exigências quanto a sua conservação.

11.1.1 Óleo Vegetal Hidrogenado

Uma das alternativas para substituição do FAME é a utilização do Óleo Vegetal Hidrogenado (HVO, do inglês *Hydrogenated Vegetable Oil*). Este tipo de combustível busca eliminar as ligações duplas pré-existent nas cadeias carbônicas dos ácidos graxos. Desta forma o

óleo vegetal torna-se “saturado” reduzindo o potencial de oxidação e geração de oligômeros. O principal efeito desta hidrogenação é a maior estabilidade das moléculas. No entanto, a viscosidade cinemática tende a aumentar quando comparada com o óleo insaturado (FATHURRAHMAN *et al.*, 2024).

No artigo de KRAHL *et al.* (2007) encontramos uma análise sobre as propriedades que deverão ser desenvolvidas em novas matérias primas para resolver problemas de qualidade, diretamente relacionadas à aplicação como combustível, entre elas o autor aborda por exemplo, a necessidade de obter o óleo com um número adequado de carbonos na molécula (entre 15 e 18), e para isto será necessário melhoramento genético de cultivares com maior rendimento econômico.

11.1.2 Diesel renovável (Diesel Verde)

O combustível denominado Diesel Verde ou Diesel Renovável (RD, do inglês *Renewable Diesel*), desenvolvido partir dos anos 2000 (HODGE, 2008; MIKKONEN, 2008), já é uma realidade nos USA. Ele elimina todos os problemas de conservação durante o armazenamento, puro ou misturado ao ODM, não exige qualquer adaptação dos motores com tecnologia mais recente.

O processo de produção deste combustível elimina completamente as ligações duplas e os átomos de oxigênio das moléculas de ácidos graxos, gerando como subproduto o propano, o qual pode ser utilizado na formulação de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

Certamente esta é a melhor opção, para garantir a renovabilidade do combustível e eliminar os problemas de perda de qualidade durante o armazenamento, como podemos constatar no artigo publicado por CHIA *et al.* (2022). Outros autores tem estudado este tipo de alternativa e corroborado as expectativas iniciais, entre eles podemos citar PATEL e KUMAR (2016); YANG *et al.* (2024).

11.2 Migração para ODC

O Brasil já conta com uma alternativa ao ODB, regulamentada pela ANP, e já em produção pela Petrobras, qual seja, o ODC, ou o R5 da Petrobras. Este combustível, é uma mistura de ODM com 5% de HVO ou

B100, ou ainda, qualquer outra matéria prima graxa de origem renovável. O seu processo de produção equivale ao do Diesel Verde apresentado no item 11.1.2 acima.

Para adequar o percentual de renovabilidade do R5, equiparando-se ao B15, seria necessário aumentar, em apenas, 6,25% o insumo de origem renovável, em relação aos 5% já utilizado.

Sem dúvida alguma, esta é a solução mais fácil e definitiva para o solucionar os problemas enfrentados pelo setor de combustíveis no Brasil, dada a obrigatoriedade de utilização do combustível renovável.

12. CONCLUSÕES

Considerando as informações retiradas da literatura técnica consultada, normas e regulamentos aplicáveis, e após as análises demonstradas nos demais itens deste estudo técnico, apresentamos a seguir nossas conclusões sobre o assunto em tela.

- a) Em todo sistema de garantia da qualidade do ODB, delineado pela RES968, não existe qualquer previsão de amostragem direta e análise do ODB efetivamente produzido, transportado e entregue no PRC ou TRR. Esta é uma falha determinante para o problema objeto deste estudo (ver item 8.3 deste estudo).
- b) Os fabricantes de veículos no Brasil, se mantêm afastados desta discussão sobre a qualidade do ODB e os efeitos dos aumentos no percentual de BD adicionado. Não se observa uma posição firme e explícita, a exemplo do que acontece na Alemanha com os mesmos fabricantes. Já passou da hora, para que este setor (indústria automobilística) se posicione de forma assertiva sobre a adequação dos combustíveis que serão utilizados nos veículos por eles produzidos. Esta manifestação deve ser de cada fabricante e não setorial, visto que está em jogo a relação entre cada fabricante e seu cliente, envolvendo garantias.
- c) Os consumidores finais, possuem direitos resguardados na legislação brasileira, no entanto, devem ser informados antes de adquirir um veículo com motorização diesel, sobre os limites aceitáveis referentes à qualidade do combustível utilizado, assim como sobre a existência de um prazo de validade para este produto.
- d) A ANP deve ouvir todos os agentes econômicos do setor e não somente aplicar políticas energéticas ou ambientais, sem ponderar as dificuldades de adaptação e custos sociais e econômicos decorrentes destas políticas. As mudanças neste setor devido ao enorme e amplo impacto na sociedade devem ser precedidas de audiências públicas e multisetoriais, antes de serem implementadas por meio de resoluções. Os aspectos políticos e ideológicos devem

ser ignorados frente aos potenciais problemas reais enfrentados pela sociedade como um todo.

- e) Considerando a variação aceita pela RES968, para o ODB, referente à propriedade denominada Ponto de Entupimento de Filtro a Frio, podemos inferir a necessidade de estabelecer percentuais de mistura diferentes entre as unidades da federação ou uniformizar a fonte de matéria prima renovável. Fica evidente, diante dos dados da tabela II da RES968, que uma única formulação (percentual de BD), em conjunto com a variedade de matérias primas renováveis autorizadas pela ANP, para todo país, é inviável tecnicamente. Não há como controlar o fluxo de Biodiesel e ODB, admitindo esta variabilidade.
- f) O ODC já regulamentado pela ANP e produzido pela Petrobras (Produto denominado como R5) é a solução imediata para os problemas enfrentados pelo PRC, e consumidores finais.

12.1 Conclusão Geral

Com este estudo, podemos concluir que o PRC está, atualmente, suportando todo o ônus resultante das ineficiências do sistema de produção, distribuição, transporte e comercialização do ODB. O sistema de controle de qualidade do ODB, regulado pela ANP, mostra-se falho e desequilibrado quanto às reponsabilidades pela qualidade final deste combustível. As medidas que vem sendo implementadas no sentido de estabilizar a qualidade deste produto, demonstram-se insuficientes, como foi possível comprovar com os estudos sobre os problemas de conservação, inerentes ao tipo de composto químico utilizado no Brasil, exaustivamente estudados por diversos pesquisadores. Países com mais experiência na utilização do FAME, como principal fonte de BD, já chegaram a conclusão que esta não é a melhor solução para a questão da renovabilidade desejada por todos. Cabe ao setor como um todo, incluindo os fabricantes de veículos e consumidores, encontrar outros caminhos que não levem a inviabilização prática da comercialização do ODB pelos PRC, em virtude do risco econômico real e insegurança jurídica na sua comercialização.

13. RECOMENDAÇÕES & PROPOSIÇÕES

Com base nas conclusões apresentadas no item anterior, oferecemos algumas recomendações e proposições objetivas.

- a) Rever o sistema de qualidade configurado pela RES920 e RES968, estabelecendo o controle efetivo, pelo produtor de B100, pela distribuidora e transportadores (ver 8 deste estudo), do ODB produzido e entregue ao varejo para comercialização, utilizando como referência os sistemas implementados pela AGQM e o BQ-9000 (para detalhes, ver item 10 deste estudo);
- b) Envolver os fabricantes de veículos nesta discussão, explicitando sua corresponsabilidade com o consumidor final, frente às decisões da ANP, exigindo a manifestação de cada um deles, a exemplo do que é realizado pela AGQM, na Alemanha (ver item 10.3.2 deste estudo);
- c) Liberar imediatamente a comercialização no varejo do ODC, que já está regulamentado pela ANP, é produzido pela Petrobrás, e possui cinco por cento (5%) de matérias primas renováveis (ver item 11.2 deste estudo);
- d) Fomentar a substituição gradual do ODB pelo ODC, aumentando o percentual atual de 5% para 11,25% de fonte renovável, a exemplo do que está acontecendo em todos os países com mais experiência que o Brasil no uso de biocombustíveis.
- e) Enquanto a migração do ODB para o ODC, sugerida na recomendação anterior, não estiver concluída, as condições de armazenamento e transporte do ODB, devem ser revistas. Deverão ser desenvolvidas novas soluções técnicas, mais adequadas para conservação deste produto.

14. REFERÊNCIAS

ABD MANAF, I. S.; EMBONG, N. H. *et al.* A Review for Key Challenges of the Development of Biodiesel Industry. *Energy Conversion and Management*, 185, p. 508-517, 2019.

ABDALLA, I. E. Experimental Studies for the Thermo-Physiochemical Properties of Biodiesel and Its Blends and the Performance of Such Fuels in a Compression Ignition Engine. *Fuel*, 212, p. 638-655, 2018/01/15/ 2018.

AGQM. Approval List of Engine and Commercial Vehicle Manufacturers - for Operation with Biodiesel (B10 | B20 | B30 | B100). AGQM;(UFOP), U. Z. F. V. O.-U. P., *et al.* 2022.

AGQM. Leaflets. BIODIESEL, A. Q. M. Berlim: Beuth-Verlag 2023.

AGQM; FRIEDRICH, K. Sampling Results of Biodiesel Producers and Warehouse Operators of Association Quality Management Biodiesel. 2024.

AL ZAABI, A.; RAJ, A. *et al.* Variation in Sooting Characteristics and Cetane Number of Diesel with the Addition of a Monoterpene Biofuel, &-Pipene. *Fuel*, n. 314, p. 11, 2022 2022.

ALVES, S. M.; DUTRA-PEREIRA, F.; BICUDO, T. D. C. Influence of Stainless Steel Corrosion on Biodiesel Oxidative Stability during Storage. *Fuel*, 249, p. 73-79, 2019.

ANP. Resolução Anp N° 828, De 1° De Setembro De 2020. AGENCIA NACIONAL DO PETROLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, pp.

ANP. Resolução Anp N° 888, De AGENCIA NACIONAL DO PETROLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, pp.

ANP. Resolução Anp N° 920, De 4 De Abril De 2023. AGENCIA NACIONAL DO PETROLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, pp.

ANP. Resolução Anp N° 968 - De 30 De Abril De 2024. AGENCIA NACIONAL DO PETROLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, pp.

ANP. Resolução Anp N° 978, De 9 De Dezembro De 2024 - Dou De 10/12/2024. AGENCIA NACIONAL DO PETROLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, pp.

ANP. Resolução Anp N° 987 De 11/08/2025. pp.

ASHRAFUL, A. M.; MASJUKI, H. H. *et al.* Production and Comparasion of Fuel Properties, Engine Performance, and Emission Characteristics of Biodiesel from Various Non-Edible Vegetable Oils: A Review. Energy Conversion Management, n. 80, p. 202-228, 13 February 2014 2014.

BALAJI, G.; CHERALATHAN, M. Study of Antioxidant Effect on Oxidation Stability and Emissions in a Methyl Ester of Neem Oil Fuelled Di Diesel Engine. Journal of the Energy Institute, 87, n. 3, p. 188-195, 2014/08/01/ 2014.

BENAJES, J.; PAYRI, R.; BARDI, M.; MARTÍ-ALDARAVÍ, P. Experimental Characterization of Diesel Ignition and Lift-Off Length Using a Single-Hole Ecn Injector. Applied Thermal Engineering, 58, n. 1, p. 554-563, 2013/09/01/ 2013.

BERRIOS, M.; MARTÍN, M. A.; CHICA, A. F.; MARTÍN, A. Storage Effect in the Quality of Different Methyl Esters and Blends with Diesel. Fuel, 91, n. 1, p. 119-125, 2012/01/01/ 2012.

BEUTH-VERLAG. Agqm Guideline for a B100 Specification. Berlim. 2023.

BIRHANU, T. T.; ZELEKE, D. S. Evaluating the Effect of Diethyl Ether and Moringa Oleifera Antioxidant Additives on the Performance and Emission Characteristics of Jatropha Biodiesel-Diesel Blended Fuel on Ci Engine – an Experimental Investigation. Heliyon, 10, n. 10, p. e31436, 2024/05/30/ 2024.

BOOG, J. H. F.; SILVEIRA, E. L. C.; DE CALAND, L. B.; TUBINO, M. Determining the Residual Alcohol in Biodiesel through Its Flash Point. Fuel, n. 90, p. 905-907, 23 October 2010 2011.

BQ-9000. Bq-9000 Quality Management System Retailer Requirements. 1^a, pp. 27.

BQ-9000. Bq-9000 Quality Management System Producer Requirements. 9^a, pp. 22.

BÜCKER, F.; DE MOURA, T. M. *et al.* Evaluation of the Deteriogenic Microbial Community Using Qpcr, N-Alkanes and Fames Biodegradation in Diesel, Biodiesel and Blends (B5, B10, and B50) during Storage. Fuel, 233, p. 911-917, 2018/12/01/ 2018.

BUKKARAPU, K. R.; KRISHNASAMY, A. A Critical Review on Available Models to Predict Engine Fuel Properties of Biodiesel. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 155, p. 34, 2022 2022.

CHIA, S. R.; NOMANBHAY, S. *et al.* Renewable Diesel as Fossil Fuel Substitution in Malaysia: A Review. Fuel, 314, p. 123137, 2022/04/15/ 2022.

DE QUADROS, D. P.; CHAVES, E. S. *et al.* Contaminantes Em Biodiesel E Controle De Qualidade. Revista Virtual de Química, 3, n. 5, p. 376-384, 2011.

DEVARAJAN, Y.; NAGAPPAN, B. *et al.* Feasibility Study of Employing Diverse Antioxidants as an Additive in Research Diesel Engine Running with Diesel-Biodiesel Blends. Fuel, 277, p. 118161, 2020/10/01/ 2020.

DO AMARAL, B. E. Estabilidade De Blendas De Diesel E Biodiesel Em Condições Distintas De Temperatura E Umidade. 2018. (MESTRADO) – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS.

DO AMARAL, B. E.; DE REZENDE, D. B.; PASA, V. M. D. Aging and Stability Evaluation of Diesel/Biodiesel Blends Stored in Amber Polyethylene Bottles under Different Humidity Conditions. Fuel, 279, p. 118289, 2020.

DO AMARAL, B. E.; REZENDE, D. B.; PASA, V. M. D., 2019, Estabilidade De Blendas De Diesel E Biodiesel De Soja/Gordura Animal Em Armazenamento Com Baixa E Alta Umidade. Universidade Federal de Minas Gerais.

FATHURRAHMAN, N. A.; GINANJAR, K. *et al.* Long-Term Storage Stability of Incorporated Hydrotreated Vegetable Oil (Hvo) in Biodiesel-Diesel Blends at Highland and Coastal Areas. Fuel Communications, n. 18, p. 9, 2024 2024.

FAZAL, M.; RUBAIEE, S.; AL-ZAHRANI, A.; GHAZALI, S. Biodiesel Degradation Mechanism Upon Exposure of Metal Surfaces: A Study on Biodiesel Sustainability. Fuel, 310, p. 122341, 2022.

FISCHER, J.; WITT, K.; WILHARM, T. Biodiesel Lifespan Quality Performance-Evaluation of Quality Changes in Biodiesel Along the Logistics Chain. AGQM – Total Deutschland GmbH – OMV Refining & Marketing GmbH 2012.

GONCA, G.; DOBRUCALI, E. Theoretical and Experimental Study on the Performance of a Diesel Engine Fueled with Diesel-Biodiesel Blends. Renewable Energy, 93, p. 658-666, 2016/08/01/ 2016.

GÜLÜM, M.; BILGIN, A. Measurements and Empirical Correlations in Predicting Biodiesel-Diesel Blend's Viscosity and Density. Fuel, n. 199, p. 567-577, 18 March 2017 2017.

GUTIERREZ OPPE, E. E.; ROTONDARO, R. G. Gestão Da Qualidade Do Biodiesel No Brasil Comparada Com Modelos Internacionais. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, 8, n. 2, p. 131, 05/23 2013.

HODGE, C. What Is the Outlook for Renewable Diesel? Hydrocarbon Processing. Gulf Publishing Company. 87: 160 p. 2008.

HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, H.; KUMAR, D. *et al.* Biodiesel Antioxidants and Their Impact on the Behavior of Diesel Engines: A Comprehensive Review. Fuel Processing Technology, 232, p. 107264, 2022/07/01/ 2022.

KARAVALLAKIS, G.; HILARI, D. *et al.* Storage Stability and Ageing Effect of Biodiesel Blends Treated with Different Antioxidants. Energy, 36, n. 1, p. 369-374, 2011/01/01/ 2011.

KIM, K.; LEE, W. *et al.* Effects of the Cetane Number on Chemical Ignition Delay. Energy, n. 264, p. 11, 2023 2023.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. The Biodiesel Handbook. Tradução RAMOS, L. P. AOCS Press, 2006 2009.

KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel Fuels. Progress in Energy and Combustion Science, n. 58, p. 36-59, 9 November 2016 2017.

KOMARIAH, L. N.; ARITA, S. *et al.* Microbial Contamination of Diesel-Biodiesel Blends in Storage Tank; an Analysis of Colony Morphology. Heliyon, 8, n. 4, 2022.

KRAHL, J.; MUNACK, A.; BOCKEY, D. Property Demands on Future Biodiesel. Landbauforschung Volkenrode, 57, n. 4, p. 415, 2007.

KUMAR, S.; YADAV, K.; DWIVEDI, G. Impact Analysis of Oxidation Stability for Biodiesel & Its Blends. Materials Today: Proceedings, 5, n. 9, p. 19255-19261, 2018.

KUMAR, V.; CHOUDHARY, A. K. Prediction of the Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine Using Diphenylamine Antioxidant and Ceria Nanoparticle Additives with Biodiesel Based on Machine Learning. Energy, 301, p. 131746, 2024/08/15/ 2024.

LEONARDO, R. S.; DWECK, J.; MURTA VALLE, M. L. Evaluation of the Effect of Biodiesel Content in Diesel/Biodiesel Fuel Blends on Sediments and Gums Formation during Storage. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 150, n. 9, p. 6821-6837, 2025/05/01 2025.

LI, D.; HE, Z. *et al.* Simultaneous Capture of Liquid Length of Spray and Flame Lift-Off Length for Second-Generation Biodiesel/Diesel Blended Fuel in a Constant Volume Combustion Chamber. Fuel, 189, p. 260-269, 2017/02/01/ 2017.

LUNING PRAK, D.; COWART, J. Physical Properties and Diesel Engine Combustion of Blends of Alcohols with Military Jet Fuel Jp-5. Fuel, 371, p. 132070, 2024/09/01/ 2024.

LV, Y.; GUO, Z. *et al.* Investigation of Biodiesel and Its Blends Fueled Diesel Engine: An Evaluation of the Comprehensive Performance of Diesel Engines. *Renewable Energy*, n. 231, p. 12, 2024 2024.

MANIGANDAN, S.; GUNASEKAR, P.; DEVIPRIYA, J.; NITHYA, S. Emission and Injection Characteristics of Corn Biodiesel Blends in Diesel Engine. *Fuel*, 235, p. 723-735, 2019.

MAYO, F. R.; MILL, T. Gum and Deposit Formation in Diesel Fuels. Final Report, 1984-1988. SRI International, Menlo Park, CA (USA). United States. 1988.

MCCORMICK, R. L.; WESTBROOK, S. R. Storage Stability of Biodiesel and Biodiesel Blends. *Energy & Fuels*, 24, n. 1, p. 690-698, 2010/01/21 2010.

MEJÍA, J. D.; SALGADO, N.; ORREGO, C. E. Effect of Blends of Diesel and Palm-Castor Biodiesels on Viscosity, Cloud Point and Flash Point. *Industrial Crops and Products*, n. 43, p. 791-797, 25 August 2012 2013.

MIKKONEN, S. Second-Generation Renewable Diesel Offers Advantages. *Hydrocarbon Processing*. Gulf Publishing Company. 87: 160 p. 2008.

MISHRA, S.; BUKKARAPU, K. R.; KRISHNASAMY, A. A Composition Based Approach to Predict Density, Viscosity and Surface Tension of Biodiesel Fuels. *Fuel*, n. 285, p. 13, 2021 2021.

MOHAMMED, A. S.; ATNAW, S. M.; RAMAYA, A. V.; ALEMAYEHU, G. A Comprehensive Review on the Effect of Ethers, Antioxidants, and Cetane Improver Additives on Biodiesel-Diesel Blend in Ci Engine Performance and Emission Characteristics. *Journal of the Energy Institute*, n. 108, p. 21, 2023 2023.

NABI, M. N.; AKHTER, M. S.; ZAGLUL SHAHADAT, M. M. Improvement of Engine Emissions with Conventional Diesel Fuel and Diesel-Biodiesel Blends. *Bioresource Technology*, 97, n. 3, p. 372-378, 2006/02/01/ 2006.

NABI, M. N.; ZARE, A. *et al.* Reductions in Diesel Emissions Including Pm and Pn Emissions with Diesel-Biodiesel Blends. *Journal of Cleaner Production*, 166, p. 860-868, 2017.

PALANI, Y.; DEVARAJAN, C.; MANICKAM, D.; THANIKODI, S. Performance and Emission Characteristics of Biodiesel-Blend in Diesel Engine: A Review. *Environmental Engineering Research*, 27, n. 1, p. 200338-200330, 2 2022.

PATEL, M.; KUMAR, A. Production of Renewable Diesel through the Hydroprocessing of Lignocellulosic Biomass-Derived Bio-Oil: A Review.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, p. 1293–1307, 2016/05/01/ 2016.

PETROBRAS. Informativo Produtos Petrobras – Óleo Diesel. SANTOS, J. A. D.; PASSOS, A. D. C., *et al.* 2000.

PISCHINGER, F. F. The Diesel Engine for Cars – Is There a Future. Internal Combustion Engine Division, 27, n. 5, p. 261–279, 1996 1996.

PRAK, D. L.; HAMILTON, M.; BANADOS, R.; COWART, J. Density, Viscosity, Speed of Sound, Flash Point, Bulk Modulus, and Surface Tension of Mixtures of Military Jet Fuel Jp-5 and Biodiesels Dataset. Data in Brief, n. 41, p. 6, 21 January 2022 2022.

RAHMANI, S.; GOLI, A.; ZACKERY, A. Biodiesel Supply Chain Network Design: A Comprehensive Review with Qualitative and Quantitative Insights. Environmental Science and Pollution Research, 31, n. 24, p. 34787–34816, 2024/05/01 2024.

RAJAK, U.; VERMA, T. N. *et al.* Effects of Different Biofuels and Their Mixtures with Diesel Fuel on Diesel Engine Performance and Exhausts. Science Total Environment, n. 903, p. 13, 2023 2023.

RAJAMOHAN, S.; KASIMANI, R.; RAMAKRISHNAN, P.; PEER, M. S. A Review on the Properties, Performance and Emission Aspects of the Third Generation Biodiesels. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 11/01 2017.

RAJENDRAN, S. Effect of Antioxidant Additives on Oxides of Nitrogen (Nox) Emission Reduction from Annona Biodiesel Operated Diesel Engine. Renewable Energy, 148, p. 1321–1326, 2020/04/01/ 2020.

RAJENDRAN, S.; GANESAN, P. Experimental Investigations of Diesel Engine Emissions and Combustion Behaviour Using Addition of Antioxidant Additives to Jamun Biodiesel Blend. Fuel, 285, p. 119157, 2021/02/01/ 2021.

RASHED, M. M.; KALAM, M. A. *et al.* Improving Oxidation Stability and Nox Reduction of Biodiesel Blends Using Aromatic and Synthetic Antioxidant in a Light Duty Diesel Engine. Industrial Crops and Products, 89, p. 273–284, 2016/10/30/ 2016.

RAWAT, D. S.; JOSHI, G. *et al.* Impact of Additives on Storage Stability of Karanja (Pongamia Pinnata) Biodiesel Blends with Conventional Diesel Sold at Retail Outlets. Fuel, 120, p. 30–37, 2014/03/15/ 2014.

RIAZI, M. Characterization and Properties of Petroleum Fractions. ASTM international, 2005.

RIZWANUL FATTAH, I. M.; MASJUKI, H. H. *et al.* Effect of Antioxidant on the Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Palm Biodiesel Blends. *Energy Conversion and Management*, 79, p. 265-272, 2014/03/01/ 2014.

ROY, M. M.; WANG, W.; ALAWI, M. Performance and Emissions of a Diesel Engine Fueled by Biodiesel-Diesel, Biodiesel-Diesel-Additive and Kerosene-Biodiesel Blends. *Energy Conversion and Management*, 84, p. 164-173, 2014/08/01/ 2014.

SANTOS, A. G. D. Avaliação Da Estabilidade Térmica E Oxidativa Dos Biodieseis De Algodão, Girassol, Dendê E Sebo Bovino. 2010. -, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SATHIYAMOORTHY, R.; SANKARANARAYANAN, G. Effect of Antioxidant Additives on the Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Using Neat Lemongrass Oil-Diesel Blend. *Fuel*, 174, p. 89-96, 2016/06/15/ 2016.

SHAHRIDZUAN ABDULLAH, I.; KHALID, A. *et al.* A Study of Ignition Delay, Combustion Process and Emissions in a High Ambient Temperature of Diesel Combustion. *Fuel*, 297, p. 120706, 2021/08/01/ 2021.

SHARMA, P.; USMAN, M. *et al.* Evaluation of Various Waste Cooking Oils for Biodiesel Production: A Comprehensive Analysis of Feedstock. *Waste Management*, 136, p. 219-229, 2021.

SIEGERT, W., 2009, Microbial Contamination in Diesel Fuel-Are New Problems Arising from Biodiesel Blends. 18-22.

SILITONGA, A. S.; MASJUKI, H. H. *et al.* A Global Comparative Review of Biodiesel Production from *Jatropha Curcas* Using Different Homogeneous Acid and Alkaline Catalysts: Study of Physical and Chemical Properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 24, p. 514-533, 27 April 2013 2013.

SINGER, P.; RÜHE, J. On the Mechanism of Deposit Formation during Thermal Oxidation of Mineral Diesel and Diesel/Biodiesel Blends under Accelerated Conditions. *Fuel*, 133, p. 245-252, 2014/10/01/ 2014.

TAMILSELVAN, P.; NALLUSAMY, N.; RAJKUMAR, S. A Comprehensive Review on Performance, Combustion and Emission Characteristics of Biodiesel Fuelled Diesel Engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, p. 1134-1159, 2017.

THIYAGARAJAN, S.; GEO, V. E.; MARTIN, L. J.; NAGALINGAM, B. Comparative Analysis of Various Methods to Reduce CO₂ Emission in a Biodiesel Fueled CI Engine. *Fuel*, 253, p. 146-158, 2019.

TSONOPOULOS, C.; HEIDMAN, J. L.; HWANG, C. Thermodynamic and Transport Properties of Coal Liquids. 1986.

WANG, Y.; LIU, H.; LEE, C.-F. F. Particulate Matter Emission Characteristics of Diesel Engines with Biodiesel or Biodiesel Blending: A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 64, p. 569-581, 2016.

WANG, Z.; LI, L.; WANG, J.; REITZ, R. D. Effect of Biodiesel Saturation on Soot Formation in Diesel Engines. Fuel, 175, p. 240-248, 2016.

WITKOWSKI, D.; GROENDYK, M.; ROTHAMER, D. A. Kinetic Model-Based Group Contribution Method for Derived Cetane Number Prediction of Oxygenated Fuel Components and Blends. Combustion and Flame, n. 255, p. 9, 16 June 2023 2023.

XIAO, H.; WANG, W. *et al.* Biodiesel-Diesel Blend Optimized Via Leave-One Cross-Validation Based on Kinematic Viscosity, Calorific Value, and Flash Point. Industrial Crops & Products, n. 191, p. 11, 2023 2023.

YANG, Z.; SHAH, K. *et al.* Characterization of Renewable Diesel, Petroleum Diesel and Renewable Diesel/Biodiesel/Petroleum Diesel Blends. Renewable Energy, n. 224, p. 16, 2024 2024.

YESILYURT, M. K.; CESUR, C.; ASLAN, V.; YILBASI, Z. The Production of Biodiesel from Safflower (*Carthamus Tinctorius* L.) Oil as a Potential Feedstock and Its Usage in Compression Ignition Engine: A Comprehensive Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 119, p. 30, 2020 2020.

ZHONG, W.; TAMILSELVAN, P. *et al.* Experimental Study of Spray Characteristics of Diesel/Hydrogenated Catalytic Biodiesel Blended Fuels under Inert and Reacting Conditions. Energy, 153, p. 349-358, 2018.

ZHOU, J.; XIONG, Y.; XU, S. Evaluation of the Oxidation Stability of Biodiesel Stabilized with Antioxidants Using the Petrooxy Method. Fuel, 184, p. 808-814, 2016.

ANEXO – DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE

