
Estudo e avaliação da estabilidade oxidativa do biodiesel comercializado na região norte do Brasil.

Study and evaluation of the oxidative stability of biodiesel commercialized in the northern region of Brazil

Received: 2023-01-11 | Accepted: 2023-02-12 | Published: 2023-03-03

Eliomar Passos de Oliveira

Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: eliomar.oliveira@atem.com.br

Dimas José Lasmar

Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: dimas_lasmar@ufam.edu.br

Jamal da Silva Chaar

Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: jchaar@ufam.edu.br

Augusto César Barreto Rocha

Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: augusto@ufam.edu.br

Everaldo de Queiroz Lima

Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: everaldo.lima@atem.com.br

Helder de Melo Guerreiro

Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: helder.guerreiro@atem.com.br

Fernando Aguiar Filho

Universidade de São Paulo, Brasil
E-mail: fernando.aguiar@atem.com.br

Gilberto Batista do Carmo

Centro Universitário Luterano de Manaus, Brasil
E-mail: gilberto.carmo@atem.com.br

Francijane Pacheco de Macedo

Centro Universitário Fametro, Brasil
E-mail: francijane.macedo@atem.com.br

Ewald Pimentel Santos

Universidade Nilton Lins, Brasil
E-mail: ewald.santos@atem.com.br

Lucas Heugênio Brito de Oliveira

Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: lucas.oliveira@atem.com.br

Maisy Ingrid Paes Rabelo Modesto

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
E-mail: maisy.rabelo@atem.com.br

Jean Lucas da Silva Rodrigues

Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: jean.rodrigues@atem.com.br

Karem Cristina de Souza Oliveira

Centro Universitário Fametro, Brasil
E-mail: karem.oliveira@atem.com.br

Pedro Paulo Nunes Barbosa

Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: pedro.barbosa@atem.com.br

Felipe Passos de Castro

Centro Universitário Luterano de Manaus, Brasil

E-mail: felipe.castro@atem.com.br
Anna Walleria Guerra Uchoa
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
E-mail: anna.uchoa@lasalle.org.br

ABSTRACT

This study sought to assess the panorama of the biodiesel issue in northern Brazil, referring to the physical chemical parameter of oxidative stability. Data were collected between the years 2020 and 2021 in the cities of Manaus and Porto Velho, through routine collections in the tanks of the distribution bases and analyzes carried out in the research and fuel testing laboratory (LAPEC) located at the Federal University of Amazonas (UFAM). The results showed the disparity of the oxidative stability of biodiesel with the current standard, placing it beyond the minimum specification, affecting its mixture with diesel S10, however diesel S500 still remained below the maximum limit determined by the National Petroleum Agency, Natural Gas and Biofuels (ANP). Thus, investigations carried out on the action of diesel in its mixture with biodiesel, improving its oxidative stability, determined that the sulfur content represents a significant factor for this. Therefore, this work allowed prospecting the panorama of the quality of biodiesel in the northern region of the country, directing critical thinking towards the elucidation of the exposed bottlenecks.

Keywords: Oxidative stability; Biodiesel; Diesel; Fuel.

RESUMO

Este estudo buscou avaliar o panorama da questão do biodiesel na região norte do Brasil, referente ao parâmetro físico-químico da estabilidade oxidativa. Dados foram coletados entre os anos 2019 e 2021 nas cidades de Manaus e Porto Velho, através de coletas rotineiras nos tanques das bases distribuidoras e análises realizadas no laboratório de pesquisas e ensaios de combustíveis (LAPEC) localizado na Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Os resultados evidenciaram a disparidade da estabilidade oxidativa do biodiesel com a norma vigente, colocando-o além da especificação mínima, afetando a sua mistura com o diesel S10, contudo o diesel S500 ainda se manteve abaixo do limite máximo determinado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Assim, investigações realizadas acerca da ação do diesel na sua mistura com o biodiesel, melhorando sua estabilidade oxidativa, determinaram que o teor de enxofre representa fator significativo para tal. Portanto, este trabalho permitiu prospectar o panorama da qualidade do biodiesel na região norte do país, encaminhando o pensamento crítico em prol da elucidação dos gargalos expostos.

Palavras-chave: Estabilidade oxidativa; Biodiesel; Diesel; Combustível.

INTRODUÇÃO

O biodiesel é um biocombustível produzido em larga escala em território brasileiro, sendo amparado pela legislação brasileira, representada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), sua mistura ao diesel é obrigatória, movimentando a economia brasileira e atuando em prol do desenvolvimento sustentável, diminuindo a emissão de poluentes ao ambiente atmosférico.

Entretanto, a qualidade do combustível é uma preocupação dos órgãos responsáveis, a fim de garantir que a sua produção e distribuição esteja dentro de um padrão de conformidade seguro, utilizável e satisfatório. De fato, o grande desafio de legislar para um país de extensão continental favorece o surgimento de diversos gargalos, isto é, inconsistências entre diferentes realidades, como, por exemplo, a discrepância de umidade relativa e temperatura entre as regiões norte e sul.

São esses obstáculos que se apresentam para as distribuidoras de combustível. Com isso, este trabalho apresentou uma investigação da equipe do setor de qualidade da Atem's distribuidora de petróleo S.A através de tese de doutorado do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia (PGBIOTEC) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), a fim de determinar a extensão da problemática da estabilidade oxidativa do biodiesel e suas misturas com diesel (Diesel S10 B e S500 B), visando obter dados precisos do panorama regional através das operações de duas cidades, Manaus-AM e Porto Velho-RO, abreviado como PVH, caracterizando, assim, as dificuldades enfrentadas e permitindo o caminhar à elucidação de tal gargalo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A estabilidade oxidativa possui diversas ramificações de assuntos que a engloba, suas questões físico-químicas são essenciais para a discussão normativa acerca da segurança e qualidade do produto a ser recebido pelo consumidor final.

ESTABILIDADE OXIDATIVA

Segundo Lôbo, Ferreira e Cruz, 2009, a estabilidade oxidativa é um dado físico-químico que está relacionado com o grau de insaturação dos alquilésteres presentes na

cadeia molecular do combustível, isto é, a alta concentração dessa insaturação mais susceptível está a molécula à degradação tanto térmica quanto oxidativa.

Combustíveis diesel são provenientes do petróleo, que por sua vez são formados por hidrocarbonetos e pequenas concentrações de alguns outros metais (BRUICE, 2006), portanto, sua natureza orgânica é essencialmente apolar, enquanto o biodiesel é formado por matérias-primas oriundas da natureza ricas em elementos hidroxilados, tal especificidade faz destes tão distintos.

Lôbo, Ferreira e Cruz, 2009, comentam que a alta temperatura e a exposição ao ar são fatores importantes que afetam as características do biodiesel, onde os estudos de Cavalcante *et al.*, 2018, também descreveram a mesma informação, fazendo, assim, com que este esteja fora das especificações normativas brasileiras, caracterizando-o como não-conforme. O processo de oxidação forma moléculas de peróxidos, inicialmente, então demais produtos voláteis são gerados.

Uma das alternativas observadas em um dos anais do Encontro de Pesquisa e Inovação da Emprega, pelos autores Moura *et al.*, 2016, está na busca por aditivos, onde resultados de até 22,85 h foram obtidos, variando concentrações entre 150 a 3000 ppm. Entretanto tal metodologia encarece o produto, sendo uma alternativa não desejada pelas grandes distribuidoras.

LEGISLAÇÃO BRASILEIRA – ANP

A resolução da ANP n° 45, de 25 de agosto de 2014, publicada na DOU em 26 de agosto de 2014 dispõe sob as obrigações e o controle da qualidade do biodiesel, a fim de regulamentar a especificação técnica do mesmo.

A estabilidade oxidativa é uma preocupação considerável na norma, pois entende-se que as consequências da reação do biodiesel podem retirar o produto das especificações normativas. No 5° Art. § 4° é descrito sobre o biodiesel possuir baixa rotatividade, estando armazenado por mais de 1 (um) mês, onde este deverá ser certificado novamente, isto é, suas propriedades físico-químicas deverão reavaliadas; caso houver uma alteração

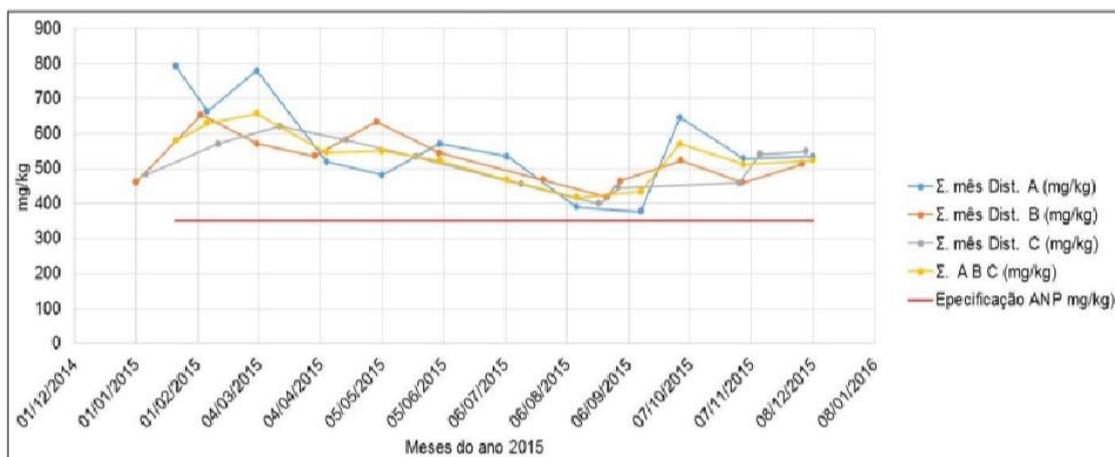
máxima de $3,0 \text{ kg/m}^3$ na sua massa específica apenas o teor de água, o índice de acidez e a estabilidade oxidativa deverão ser verificados.

A norma aceita como metodologia de análise da estabilidade oxidativa o padrão europeu EN 14112 e 15751, assim, os valores aceitos variaram conforme novas publicações oficiais. Atualmente, está em vigor a resolução n° 798, de 1° de agosto de 2019, publicado na DOU em 2 de agosto de 2019, onde esta estabelece o valor da estabilidade oxidativa em 12 h, aumentando o rigor normativo.

RELAÇÃO COM A UMIDADE

O biodiesel é um combustível higroscópico, comprovado pelos estudos de Cavalcante *et al.*, 2018, e Oliveira *et al.*, 2021, onde observou-se que as condições climáticas da região norte afetam diretamente na qualidade e especificação do mesmo, assim, problemas normativos foram observados em toda região (Figura 1), por causa do alto teor de umidade, afetando, em cascata os combustíveis finais diesel S10 B e S500 B.

Figura 1 – Teor de água no biodiesel em três distribuidoras amazonenses



Fonte: Oliveira *et al.*, 2021.

Os estudos evidenciaram que o biodiesel presente nas distribuidoras da região norte está em desacordo com as especificações da ANP 45/2014, pois nenhum dos dados coletados sequer favoreceram o valor do teor de biodiesel abaixo do máximo permitido.

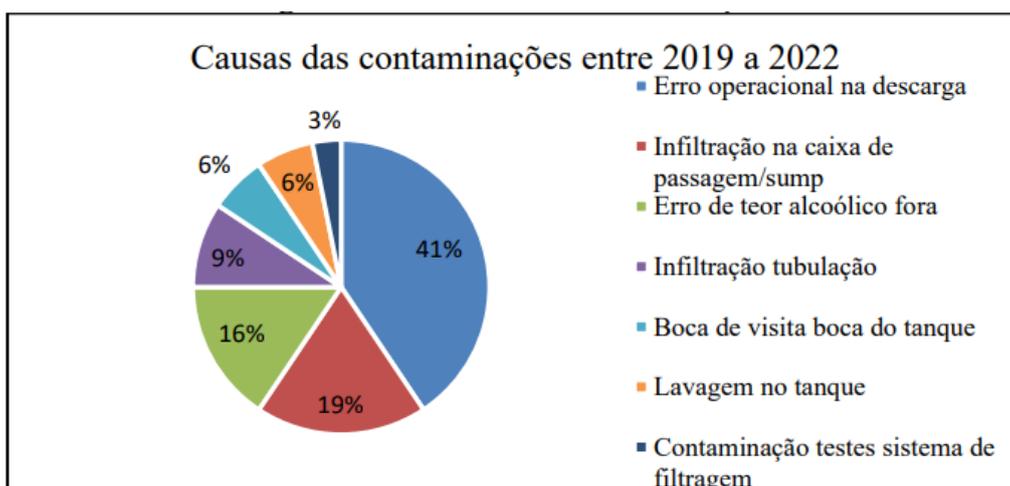
Os estudos de Oliveira *et al.*, 2021, destacam a preocupação da problemática com as especificações dos combustíveis biodiesel e diesel na região norte, haja vista a legislação da ANP não considerar a situação climática e intempestiva da Amazônia, pondo em risco a segurança das distribuidoras quanto autuações e questões de adequação.

Portanto, a umidade presente no combustível favorece a presença de quantidades maiores de hidroxilas no meio, o que pode causar maiores instabilidades em relação à oxidação com o ambiente úmido da região amazônica, portanto, tal estudo é relevante e deve ser discutido para maiores esclarecimentos quanto ao assunto.

HISTÓRICO DE NÃO-CONFORMIDADES

Questões de não conformidade são problemas não incomuns nas distribuidoras, haja vista os desafios referentes ao controle da qualidade dos combustíveis por toda a extensão de atuação da mesma, o que envereda entre postos, usinas, veículos e demais atividades semelhantes a estas. Silva *et al.*, 2022, levantou dados quanto a não conformidades observadas em postos de gasolina, conforme Figura 2, e Silva *et al.*, 2023, descreveu os gargalos avaliados em usinas termoeletricas da região norte do país, tornando claro a questão multifacetária da qualidade nos anexos da distribuidora.

Figura 2 – Classificação das fontes de contaminação em postos de combustível



Fonte: Silva *et al.*, 2022.

Nos levantamentos acerca dos postos de gasolina e usinas termoelétricas os problemas gerais identificados estão no não cumprimento de procedimentos padrões de recebimento do combustível, na armazenagem inadequada nos tanques subterrâneos e na falta de manutenção dos equipamentos, ou seja, a diversidade de problemáticas é um obstáculo contínuo e todos os esforços necessários devem ser empregados para que a máxima qualidade possível dos combustíveis seja mantida.

METODOLOGIA

A obtenção de dados de estabilidade oxidativa de um dado combustível se dá através de testes físico-químicos com metodologias regulamentadas por órgãos internacionais, dessa forma, o laboratório segue um modelo de padronização a fim de manter um modelo global de estudo.

RECEBIMENTO, COLETA E LOGÍSTICA DO COMBUSTÍVEL

As atividades da distribuidora nas cidades de Porto Velho e Manaus englobam o rodoviário, fluvial (cabotagem), marítimo (exportação) e bombeio (por dutos), sendo estes dois últimas funções exclusivas da base distribuidora em Manaus. Dentre as ações da logística do combustível está o seu armazenamento, onde a distribuidora utiliza tanques aéreos com capacidades que variam entre milhares e milhões de litros.

Os combustíveis possuem alta rotatividade graças aos diversos meios de dissipação, sendo até possível transferências entre tanques, dessa forma, as operações provenientes de descargas de balsas, caminhões e navios se misturam nos tanques. Assim, operações de coleta e controle da qualidade são comuns na rotina da distribuidora.

Uma saca amostra conectada a uma corda é utilizada para coletar o combustível e uma garrafa de polietileno para armazená-lo, a atividade é realizada da seguinte forma:

- Lava-se duas vezes a saca amostra com o combustível que será feita a coleta;
- Lança-se a saca amostra até o fundo do tanque segurando-a pela corda;

- Arrasta-se a saca amostra até o topo rapidamente, puxando-a pela corda;
- Retira-se a saca amostra e deposita-se o combustível na garrafa de polietileno;
- Tampa-se a garrafa com batoque e por fim a mesma deve ser lacrada e identificada com os dados de rastreio.

Após tal procedimento o combustível é designado à análise laboratorial. Assim, coletou-se os resultados das amostras referente ao período de 2019-2020 em Porto Velho e 2019-2021 em Manaus.

ANÁLISE LABORATORIAL - PADRÃO DE NORMAS EUROPEIAS

Duas normas europeias são utilizadas como fundamento para as metodologias de análises, EN 14112 e EN 15751. Segundo tais normas, a determinação da estabilidade oxidativa é uma técnica utilizada em derivados de gorduras e óleos, pois são compostos por ésteres metílicos de ácidos graxos, comuns no biodiesel.

As normas são semelhantes, modificando apenas alguns aspectos da metodologia, mas, em linhas gerais, a EN 15751 especifica a metodologia para combustíveis misturados com diesel, portanto, é pontual e especializada, enquanto a EN 14112 possui metodologia generalizada para qualquer derivado de óleos e gorduras. A norma 15751, na sua introdução, esclarece que a mesma foi desenvolvida tendo-se como base a EN 14112.

A norma específica para combustíveis, EN 15751, descreve que um dispositivo é necessário para a determinação da estabilidade oxidativa, suas partes essenciais são:

- Filtro de ar;
- Bomba de gás por membrana;
- Recipiente de reação;
- Célula de mensuração fechada;
- Eletrodos;
- Aparato de medição e armazenagem de dados;
- Tiristor e um termômetro de contato;
- Bloco de aquecimento ou banho termostático;

- Termômetro calibrado e certificado.

Muitos modelos de medidor de estabilidade oxidativa estão presentes no mercado, entretanto todos devem seguir o padrão determinado pela norma europeia a fim de se obter resultados padronizados em ordem internacional.

O método é nomeado de Rancimat e deve ser realizado no tempo mínimo de 6 h de indução. Uma amostra do combustível é adicionada no recipiente de reação, sendo submetido à temperatura de 110 °C e sob um fluxo de ar. O condutímetro acoplado à célula de mensuração será o responsável por detectar a presença de ácidos orgânicos voláteis, produzidos pela oxidação, que são condensados pela técnica de destilação. Assim, o tempo necessário para a comprovação da presença de ácidos orgânicos na célula de mensuração é denominado período de indução.

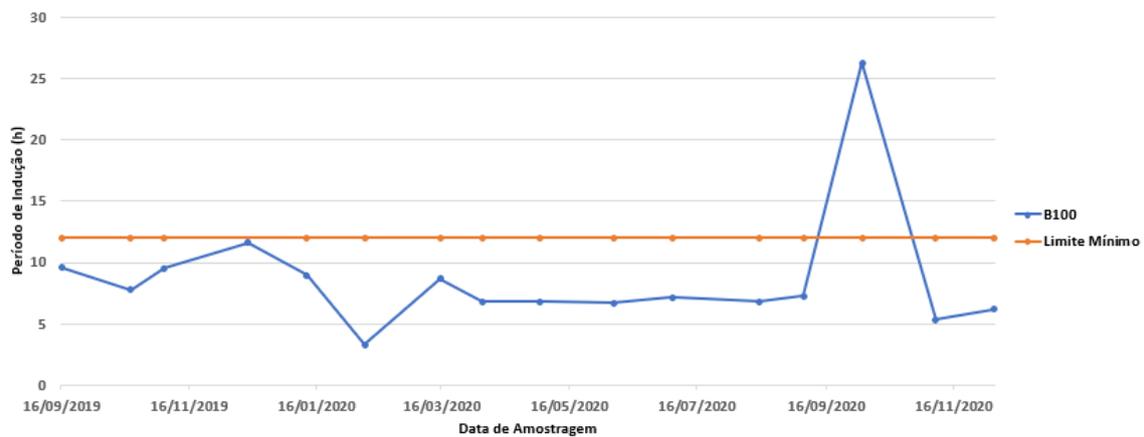
Os estudos laboratoriais foram realizados com o apoio do Laboratório de Pesquisas e Ensaio de Combustíveis (LAPEC) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados dos combustíveis analisados foram coletados conforme a metodologia exposta, dessa forma as informações apresentaram o comportamento da condição físico-química intrínseca da estabilidade oxidativa, evidenciando a caracterização geográfica imbuída nos mesmos, além de apresentar a distinção entre estes.

ESTABILIDADE OXIDATIVA EM PORTO VELHO – RO

Com a totalidade de 12 (doze) amostras coletadas o biodiesel apresentou comportamento majoritariamente não-conforme, exposto na Figura 3, possuindo apenas um único ponto fora da normalidade gráfica, o que pode ser considerada uma discrepância a ser desprezível para estes resultados.

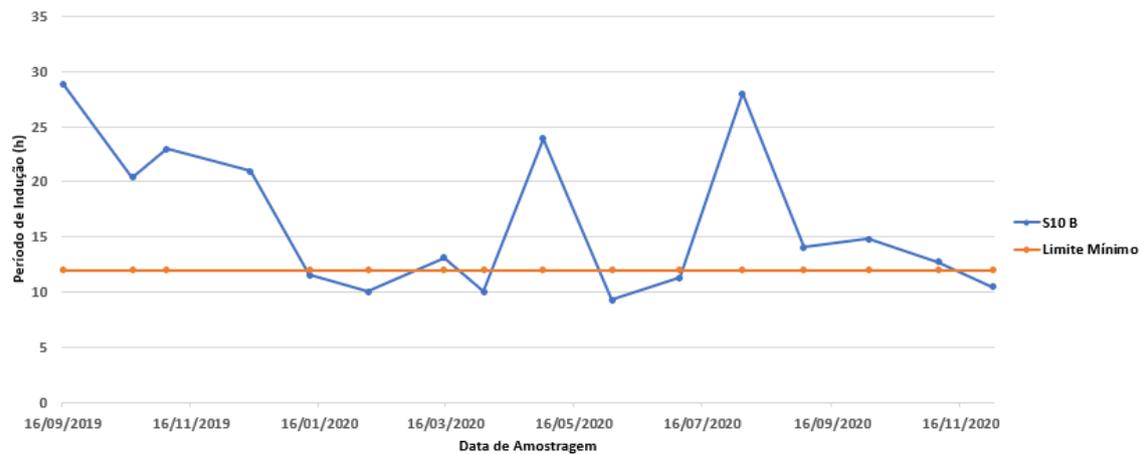
Figura 3 – Estabilidade oxidativa B100 em PVH

Fonte: Oliveira *et al.*, 2023.

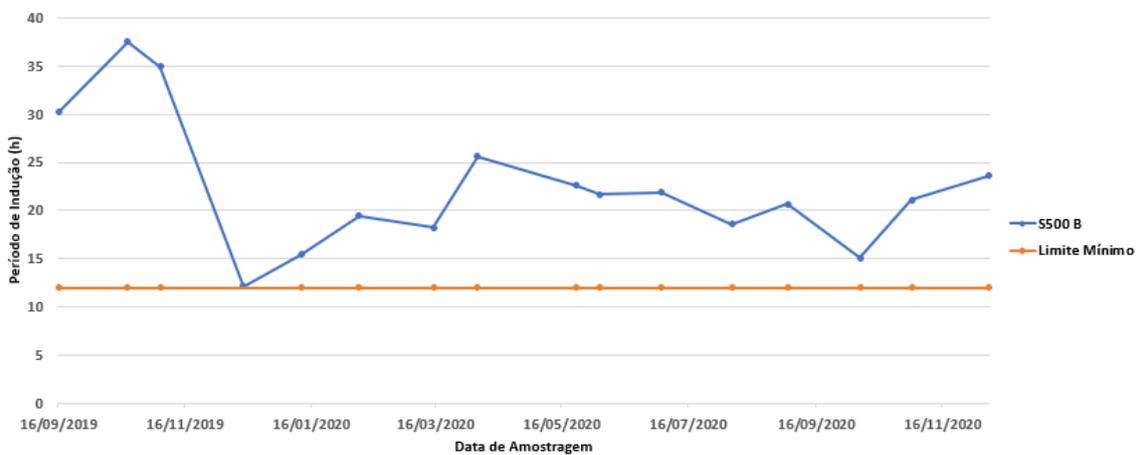
Ao se desconsiderar o ponto de discrepância é possível determinar que a estabilidade oxidativa do biodiesel nas operações da cidade de porto velho são aproximadamente constantes, entre 5 (cinco) e 10 (dez) horas, ou seja, não há significativas variações nesse parâmetro, ao se considerar a avaliação dos dados de 11 (onze) meses de estudo.

Em vista dos dados apresentados, tem-se que tal não-conformidade tende à permanência, caso não haja providências técnicas e operacionais. Dessa forma, a questão da estabilidade oxidativa é um gargalo juntamente com a umidade absorvida pelo combustível, infringindo as determinações da ANP 45/2014.

Assim, verificou-se a estabilidade dos combustíveis diesel S10 e S500 após a adição normativa de biodiesel, cujos dados estão apresentados na Figura 4, onde percebeu-se a evolução gradual dos dados com a mudança de diesel, tendendo à conformidade.

Figura 4 – Estabilidade oxidativa dos combustíveis diesel S10 B e S500 B em PVH

(a)



(b)

Fonte: Oliveira *et al.*, 2023.

Enquanto o diesel S10 (Figura 4a), após absorver o biodiesel, eleva a sua estabilidade oxidativa, oscilando entre acima e abaixo do limite mínimo, o que não é satisfatório conforme parâmetros da ANP, o diesel S500 B (Figura 4b) consegue manter bons resultados em conformidade normativa.

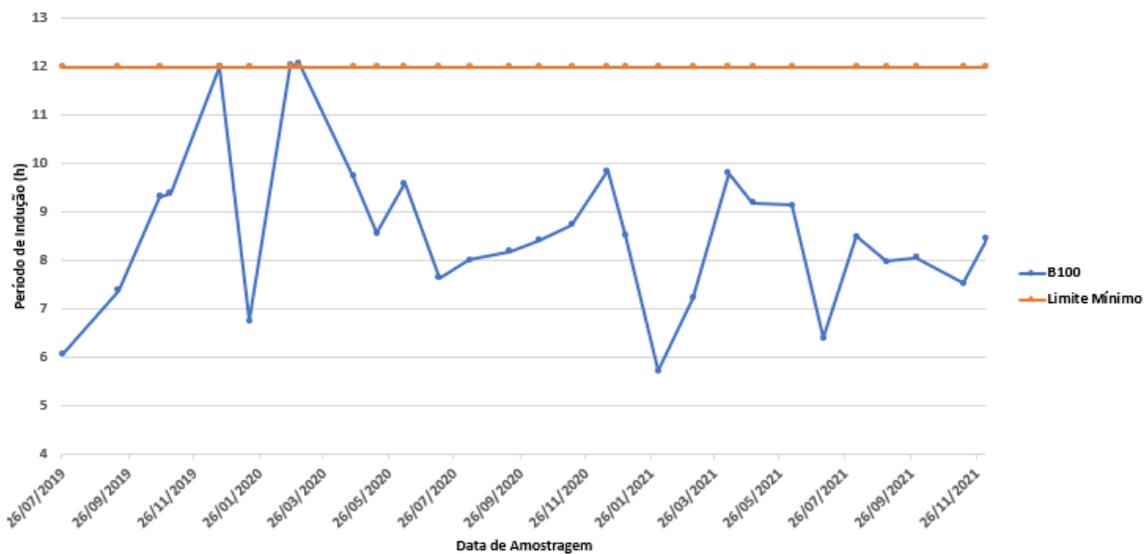
Os dados intensificam as preocupações de Lôbo, Ferreira e Cruz, 2009, e Cavalcante *et al.*, 2018, explanando os cuidados com o armazenamento prolongado do combustível, colocando em risco a qualidade destes contudo, é um caso a ser estudado, haja vista a rotatividade dos tanques das distribuidoras, com isso, investigações devem ser instigadas a fim de ser mais bem compreendido a magnitude das consequências causadas pela estabilidade oxidativa não-conforme na região norte.

Tais resultados convergem com os estudos de Oliveira *et al.*, 2021, pois semelhante à condição da estabilidade oxidativa observada se dá a umidade, o teor de água, presente, por meio de higroscopia, no biodiesel. Conforme o autor, os dados de umidade de diesel S10 B se mantêm próximos ao limite máximo (200 mg/kg), enquanto o diesel S500 B se apresenta em conformidade com uma folga significativa, ao contrário do biodiesel, que está em sua totalidade fora dos parâmetros, semelhante à estabilidade oxidativa. Assim, determina-se que a estabilidade oxidativa é inversamente proporcional à umidade higroscópica do combustível.

ESTABILIDADE OXIDATIVA EM MANAUS – AM

Os dados de estabilidade oxidativa obtidos em Manaus foram compilados e expostos na Figura 5. O comportamento observado se apresenta semelhante aos dados de Porto Velho, ambas as cidades geraram a média da estabilidade em aproximadamente 8 (oito) horas, sendo 8,40 h em PVH e 8,0 h em Manaus.

Figura 5 – Estabilidade oxidativa B100 em Manaus



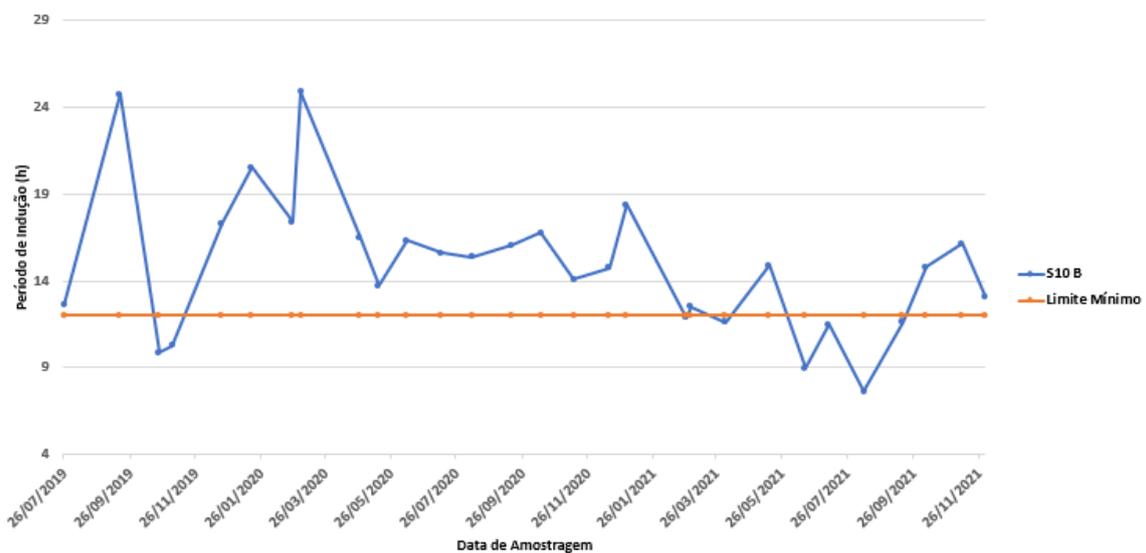
Fonte: Oliveira *et al.*, 2023.

A proximidade entre os dados obtidos em ambas as cidades evidencia um caso de gargalo regional quanto ao atendimento dos parâmetros da ANP por parte do biodiesel e suas misturas. Essa discussão é coerente com as características regionais, conforme estudos de Oliveira *et al.*, 2021, que comprovou o problema da umidade no biodiesel na

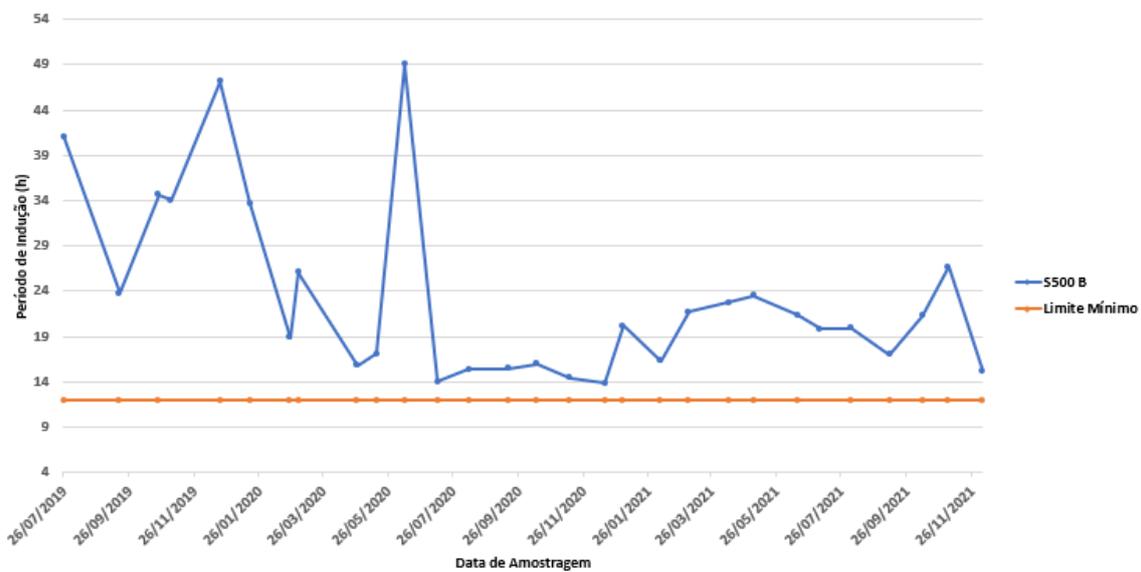
logística do combustível do centro do país (origem do biodiesel) até as distribuidoras da região Norte. Vale ressaltar que operações contínuas são realizadas entre a distribuidora Atem Manaus e Porto Velho, fortalecendo o argumento levantado, pois a troca entre combustíveis é comum.

Assim os dados investigativos acerca da estabilidade oxidativa do diesel S10 B e S500 B são apresentados na Figura 6. Ainda acompanhando a mesma semelhança com os dados de Porto Velho observados no biodiesel.

Figura 6 – Estabilidade oxidativa dos combustíveis diesel S10 B e S500 B em Manaus



(a)



(b)

Fonte: Oliveira *et al.*, 2023.

Os dados computados até então fundamentam esta investigação e dão subsídios suficientes para que alternativas técnicas e operacionais sejam buscadas em prol da qualidade dos combustíveis conforme as normas vigentes. Assim, é importante ressaltar a forte correlação da umidade higroscópica com a estabilidade oxidativa, onde este se apresenta como provável estopim da não-conformidade.

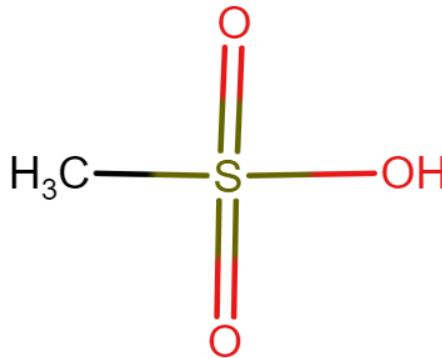
Os resultados atestam a necessidade de providências, haja vista a estabilização dos dados, cuja tendência é constante, isto é, o comportamento sistemático dessas informações não possui projeções para alterações significativas na estabilidade oxidativa. Ademais, a proporção de adição de biodiesel aumentará em 15 %, conforme publicações da ANP (BRASIL, 2021), agravando as questões observadas até então.

DISCUSSÃO ACERCA DA ESTABILIDADE OXIDATIVA NO COMBUSTÍVEL DIESEL

Os dados coletados dos combustíveis diesel B, expostos nas Figura 4 e 6, apresentaram uma melhora significativa de conformidade da estabilidade oxidativa na adição do biodiesel entre o S10 B e S500 B, abrindo o questionamento acerca da causa do favorecimento do diesel cuja concentração de enxofre é maior, no caso diesel S500.

O combustível diesel, como um derivado do petróleo, possui na sua estrutura básica o hidrocarboneto, contudo algumas moléculas de outros átomos também estão presentes, como as nitrogenadas e sulfonadas. O biodiesel possui ésteres em sua composição, já que o mesmo é oriundo de matéria prima orgânica, portanto, é natural que sua composição seja abundante em hidroxilas e ésteres, dessa forma, o enxofre presente no diesel reagirá com os átomos de oxigênio presentes no biodiesel formando o ácido sulfônico nas pontas das cadeias (Figura 7), conforme Bruice (2006).

Segundo a autora o ácido sulfônico possui pKa 21, classificando-o como forte, pois sua base conjugada se apresenta estável, por causa da deslocalização da carga negativa entre três átomos de oxigênio. Dessa forma, o enxofre se apresenta como um eficiente capturador de átomos de oxigênio, pela sua alta reatividade, estabilizando as estruturas das moléculas de ésteres presentes no biodiesel, ao substituí-las pelo ácido sulfônico.

Figura 7 – Ácido sulfônico

Fonte: Oliveira *et al.*, 2023.

Assim, compreende-se que pelo fato do diesel S500 possuir maiores concentrações de enxofre a estabilidade oxidativa aumenta, pois os ésteres e as moléculas de oxigênio presentes no biodiesel, que são responsáveis pela reatividade oxidativa do mesmo, são atacadas pelo enxofre, portanto, os desafios para combustíveis com menores concentrações de enxofre se apresentam maiores, apesar da contribuição ao desenvolvimento sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho, como parte da discussão da tese de doutorado do PGBIOTEC, alcançou resultados que expressam, em tese, a realidade da logística operacional do combustível biodiesel na região norte do país, assim, tornou-se possível a descrição de um panorama regional, pois ambas cidades apresentaram resultados próximos da igualdade, com comportamentos tal quais semelhantes, portanto, considerando a movimentação de combustíveis interligada em toda região norte do país e a origem única do biodiesel, na região centro-oeste do país, entende-se, com isso, que os resultados apresentados neste trabalho conferem à realidade da quantidade majoritária dos combustíveis comercializados na região norte do país.

Assim, através desta pesquisa, é possível direcionar pensamentos críticos e elucidativos em prol da resolução de tal problemática, seja por meios operacionais, logísticos ou reacionais, pois tanto o biodiesel quanto o diesel S10 B se apresentam além

dos limites estabelecidos pela ANP. A discussão se torna ainda mais expressiva com o aumento da adição de biodiesel nos combustíveis diesel em 2023, agravando a problemática e colocando em risco a conformidade do diesel S500 B, único que ainda se mantém dentro do limite de estabilidade oxidativa normativa aceitável até a publicação deste artigo.

REFERÊNCIAS

ANP. **Resolução nº 45, de 25 de agosto de 2014** – DOU de 26-08-2014. Disponível em < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=2740642007> >. Acesso em 11 de fev. 2023.

ANP. **Resolução nº 798, de 1º de agosto de 2019** – DOU de 02-08-2019. Disponível em < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=381216#:~:text=Alterar%20a%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20ANP%20n%C2%BA,da%20caracter%C3%ADstica%20estabilidade%20%C3%A0%20oxida%C3%A7%C3%A3o.>> >. Acesso em 11 de fev. 2023.

BRASIL. **Mistura de biodiesel ao diesel**. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo. Disponível em < https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/mistura-de-biodiesel-ao-diesel-passa-a-ser-de-13-a-partir-de-hoje-1-3 >. Acesso em 12 de fev. 2023.

BRUICE, Paula Yurkanis. *Química orgânica: Paula Yurkanis Bruice*. **Pearson Prentice Hall**, 2006.

CAVALCANTI, E. H.; ZIMMER, A. R.; BENTO, F. M.; FERRÃO, M. F. **Chemical and microbial storage stability studies and shelf life determinations of commercial Brazilian biodiesels stored in carbon steel containers in subtropical conditions**. *Fuel*, v. 236, p. 993-1007, 2019.

EUROPEAN STANDARD. **SIST EN 14112:2020** - Fat and oil derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (FAME) - Determination of oxidation stability (accelerated oxidation test). European Committee for Standardization: 2020.

EUROPEAN STANDARD. **SIST EN 15751:2014** - Automotive fuels - Fatty acid methyl ester (FAME) fuel and blends with diesel fuel - Determination of oxidation stability by accelerated oxidation method. European Committee for Standardization: 2014.

LÔBO, Ivon Pinheiro; FERREIRA, Sérgio Luis Costa; CRUZ, Rosenira Serpa da. **Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos**. *Química nova*, v. 32, p. 1596-1608, 2009.

MOURA, Nayara Neiva; DUTRA, Rodrigo Bastos Cesarino; SOARES, I. P. **Avaliação da estabilidade oxidativa do B100 com o uso de aditivos comerciais e Extrativos**. 2016.

OLIVEIRA, E. P.; OLIVEIRA, T. C.; SILVA, E. L.; LIMA, E. Q.; SOUZA, M. S.; MACEDO, F. P.; CARMO, G. B. **Impactos da regulamentação da qualidade do Biodiesel para os agentes regulados na Região Norte**. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.12, ISSN: 2525-8761 p. 121730-121743 dec. 2021.

SILVA, E. L. DA., OLIVEIRA, E. P. DE, LASMAR, D. J., GALL, J. P. DE M., UCHOA, A. W. G., MACEDO, F. P. DE, CARMO, G. B. DO, LIMA, E. DE Q., & GUERREIRO, H. DE M.

(2022). **Investigação de contaminação de combustíveis em rede de postos e a relação com as resoluções descumpridas**: Investigation of fuel contamination in a gas station network and the relationship with non-compliant resolutions. *Brazilian Journal of Development*, 8(10), 70241–70261. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n10-349>.

SILVA, E. L., de Oliveira, E. P., Gall, J. P. de M., Filho, F. A., Uchoa, A. W. G., Lasmar, D. J., Lima, E. de Q., do Carmo, G. B., de Macedo, F. P., & Guerreiro, H. (2023). **Investigação das causas de não conformidades legais na qualidade dos combustíveis de usinas termoeletricas na região Norte do Brasil**. *Concilium*, 23(1), 16–30. <https://doi.org/10.53660/CLM-814-23A62>