

# MEDIÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA UTILIZANDO DIESEL E BIODIESEL

**Palavras-Chave:** Biocombustíveis, Emissão de Poluentes, Máquinas Agrícolas

**Autores(as):**

**RODRIGO MUNUERA R. DE OLIVEIRA, FEAGRI – UNICAMP**

**DANIEL W. ZACHER, FEAGRI – UNICAMP**

**FERNANDO FINGER, FEAGRI – UNICAMP**

**Prof<sup>(a)</sup>. Dr<sup>(a)</sup>. BÁRBARA J. TERUEL, FEAGRI – UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO

O Brasil é mundialmente reconhecido como uma das maiores potências agrícolas e com grande quantidade de operações mecanizadas, estimando-se que a frota de tratores agrícolas seja de mais de um milhão de unidades. Esta frota ainda é fortemente dependente do diesel de origem fóssil, e equipados com motores de ciclo diesel, gerando-se no processo de combustão grande quantidade de gases poluentes e de efeito estufa (GEE), dentre estes o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ). De acordo com dados publicados pela FAO (*Food and Agriculture Organization*, FAOSTAT, 2019), a respeito das emissões geradas por atividades agrícolas, o uso de combustível fóssil foi responsável pela liberação de mais de 500 milhões de toneladas de  $\text{CO}_2$ , em 2019.

Para mitigar os impactos ambientais diversas ações estão sendo regulamentadas no Brasil, como por exemplo, o Projeto de Lei 528/2020 conhecido como “Combustíveis do Futuro”, e o Conselho Nacional de Política Energética, estabeleceram em 2023 que o percentual de biodiesel no óleo diesel passará de 12 para 14%, a partir de março deste ano, esperando que a adição chegue até 20% em 2031. Também a criação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), vem crescendo as iniciativas e desenvolvimentos tecnológicos para produção de biodiesel de primeira e segunda geração. Segundo dados da empresa, se trata de uma “solução imediata para o cumprimento das metas de descarbonização em curto prazo”. Trata-se de um éster metílico bidestilado, gerado a partir do óleo de soja, classificado como ULSD (*Ultra Low Sulfur Diesel*), e que pode representar redução de até 50% nas emissões de monóxido de carbono, 85% nas partículas e 90% na fumaça preta. Outra das vantagens é que não depende de mudanças na motorização, ou investimentos adicionais em infraestrutura, em comparação a outros caminhos tecnológicos como a eletrificação ou o

uso do biometano, e ainda os fabricantes destacam que o preço é mais competitivo que outros biocombustíveis de segunda geração.

Considerando a necessidade da descarbonização da agricultura e da iminência de ações para a transição energética, um convênio de colaboração assinado entre a UNICAMP e duas empresas, derivou em um projeto de pesquisa abrangente, e com participação de discentes de graduação e pós-graduação. Um dos subprojetos atrelados é este de iniciação científica, que objetivou a medição da emissão dos gases CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, reconhecidamente como GEE, quando um trator agrícola foi submetido a diferentes regimes de operação, e abastecido com 100% de diesel comercial (de origem fóssil), e 100% do novo biodiesel. Derivando-se dentre as metas, a análise dos gases produto da combustão, e especificamente de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, que são GEE.

## METODOLOGIA:

O desenvolvimento da experimentação foi executado no Laboratório de Energia e Agricultura Digital (LADE) e no Laboratório de Protótipos, da Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP. Um trator Mahindra (modelo 6060; 57 HP; motor diesel de 4 cilindros; tração 4x4), foi instrumentado com um sistema de medição de gases, PEMS (*Portable Emissions Measurement System*, marca Horiba), além de acoplar ao trator um dinamômetro (marca AW, modelo NEB400). Seguindo a norma ABNT ISO 8178-4, o dinamômetro foi acoplado à tomada de potência (TDP), para poder operar o trator em diferentes modos de torque e potência do motor.

O trator foi operado em oito modos, relacionando a velocidade angular do eixo do motor e o torque como mostrado na tabela 1. A partir do maior valor de velocidade angular, obtido e através da queda gradual das rotações do eixo do motor, conforme a elevação do torque exercido pelo dinamômetro, foram então geradas as curvas de torque e de potência do trator, seguindo a metodologia da norma ISO 8178-4. Essas condições de operação e as medições, foram realizadas para duas condições, com o trator abastecido com 100% de diesel comercial, e 100% do novo biocombustível. Por motivos do termo de sigilo assinado com a empresa que forneceu a quantidade do novo biocombustível utilizado na pesquisa, definiu-se usar a denominação de Biodiesel Bidestilado Avançado (BDA). O diesel comercial, de origem fóssil, foi adquirido em posto de combustível, e será denominado como DCF.

Modo	Velocidade angular (rpm)	Torque (N*m)
1	720	400
2	720	300
3	720	200
4	720	40
5	330	490
6	330	367,5
7	330	245
8	294	23,5

*Tabela 1: Especificações dos modos de operação do trator obtidos.*

Amostras do diesel comercial foram submetidas a análises químicas no laboratório Central Analítica, do Instituto de Química, na UNICAMP. Este laboratório utiliza métodos padronizados para a análise de combustíveis, de acordo com normas da Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT) e *American Society Test of Materials* (ASTM), conforme regulamento técnico da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP N° 4). Dentre as características determinadas estava a análise da quantidade de biodiesel contida nas amostras, revelando ser de  $12\pm 0,4$  mL/100mL de biodiesel no óleo diesel. As amostras avaliadas foram retiradas da quantidade total adquirida para a pesquisa, em posto credenciado para abastecimento de tratores agrícolas, por ter adquirido o combustível em inícios de abril, provavelmente o fornecedor ainda estava em processo de transição para a adição dos 14% exigidos a partir de março deste ano. O laudo de caracterização do biodiesel BDA foi fornecido por laboratório especializado de Passo Fundo, que também aplica métodos padronizados e em concordância com a ABNT, ASTM e ANP.

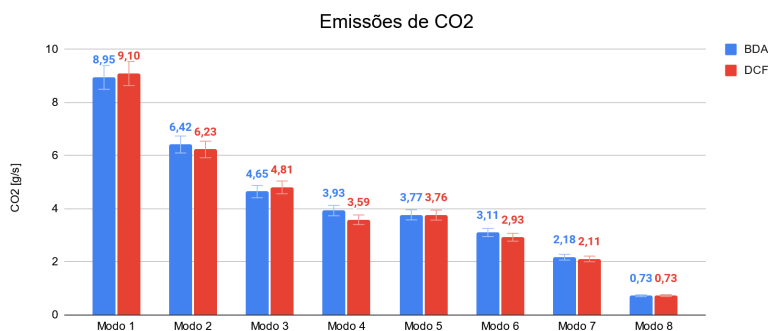
Uma das características avaliadas em ambos combustíveis foi o ponto de fulgor ou de inflamação, que é a menor temperatura a qual o combustível libera vapor em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável, por uma fonte de calor externa. No caso de óleo diesel esta temperatura deve ser no mínimo de  $38^{\circ}\text{C}$  e de biodiesel de  $130^{\circ}\text{C}$ . Comprovou-se pelos os resultados das análises no laboratório que para o caso do DCF foi de  $51,0\pm 4,0^{\circ}\text{C}$ , e do BDA de  $159,5\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ , valores que estão dentro do esperado.

A instalação do PEMS no escapamento do trator foi realizada por técnico da empresa Horiba, especializado na programação e operação do equipamento, garantindo a robustez do funcionamento durante todos os experimentos. A cada troca de combustível foi feita a troca do filtro de passagem, evitando a contaminação e interferências entre possíveis resíduos de cada tipo de combustível. Para cada um dos oito modos de operação foram realizadas três repetições, e os dados salvos automaticamente através do software específico do PEMS, gerando os arquivos para posterior processamento, no formato .csv.

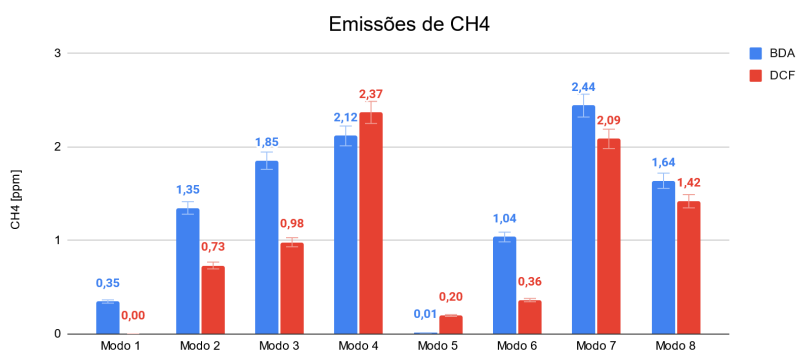
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o processamento dos dados medidos com o PEMS, foram compostos os gráficos mostrados na sequência, comparando as emissões de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , quando abastecido o trator com DCF e BDA, para os oito modos de operação. Comprovou-se que as emissões de  $\text{CO}_2$  aumentaram em mais de 8% entre o modo 1 (maior velocidade e torque), se comparado com o modo de operação 1, que correspondeu ao menor torque e velocidade angular. A comparação das emissões de  $\text{CO}_2$ , entre os tipos de combustíveis, para os oito modos de operação, não revelou diferença na ordem de grandeza, sendo em média de 0,22 g/s. Estes resultados podem ser explicados devido à que o diesel já possui uma adição de 12% de biodiesel, e como foi demonstrado em alguns estudos comparando a

combustão em motores de ciclo diesel, de misturas de diesel e biodiesel, em que houve decréscimo da emissão de CO<sub>2</sub> quando utilizado o combustível com adição de mais de 10% de biodiesel (Emaish *et al.*, 2021). Por outro lado, há maior influência dos modos de operação do trator nas emissões de CO<sub>2</sub>, tanto para diesel como quando usado biodiesel (Strada, 2014). Mas, mesmo que misturas de diesel e biodiesel gerem maiores emissões de CO<sub>2</sub>, este é absorvido pelas plantas, considerando então como menor emissão líquida de CO<sub>2</sub> (Mofijur *et al.* 2016).



**Gráfico 1:** Comparação entre as emissões de CO<sub>2</sub> dos combustíveis Biodiesel Destilado Avançado (BDA) e Diesel Comercial de origem Fóssil (DCF) nos 8 diferentes modos de operação do trator.



**Gráfico 2:** Comparação entre as emissões de CH<sub>4</sub> dos combustíveis Biodiesel Destilado Avançado (BDA) e Diesel Comercial de origem Fóssil (DCF) nos 8 diferentes modos de operação do trator.

Vale ressaltar que, caso as emissões de CO<sub>2</sub> estejam equiparadas entre biodiesel e diesel, as suas características renováveis devido à cultivo de fontes vegetais fazem dele um depósito para o CO<sub>2</sub> atmosférico (Pinto, 2005).

Com relação às emissões de CH<sub>4</sub>, a diferença média entre os dois combustíveis para os oito modos foi de 0,33 ppm, obtendo-se o menor valor na comparação entre o DCF e BDA para o modo 4 de operação, em que o motor estava funcionando com a maior velocidade angular e com o menor torque (720 rpm e 40 N\*m). (de emissão de CH<sub>4</sub>, quando usado o BDA, para o modo de operação 2 e 6 (720 rpm e 300 N\*m; 330 rpm e 245 N\*m) (Gráfico 2).

A maior diferença na quantidade de CH<sub>4</sub> emitido foi para o modo 2 de operação (720 rpm e 300N\*m), representando 52% a mais quando utilizado o BDA, com relação ao DCF. Constatase que na medida que o torque aumenta até 490 N\*m, há diminuição da quantidade de CH<sub>4</sub> emitido, para ambos os combustíveis. Isto favorece a adoção de uso de biocombustíveis, e o aumento de

porcentagem adicionada ao óleo diesel, já que são condições de alta demanda de potência para o trator, e muitas das operações de mecanização na agricultura, demandam alta potência. Não foram identificados na literatura consultada resultados da medição de emissões de CH<sub>4</sub>.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo apontam para o potencial menos impactante do diesel de origem fóssil com maiores proporções de diesel, e a viabilidade de uso em tratores agrícolas. Os resultados das análises realizadas e discutidas aqui são parciais, pois o projeto de iniciação científica teve como objetivo avaliar as emissões de alguns dos GEE (CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>), mas, nos projetos associados e em desenvolvimento por um discente de doutorado, está sendo realizada a análise das emissões de CO, NOx, HC, aliado aos índices de desempenho do trator, nos mesmos modos de operação e para os dois combustíveis. Resultados preliminares das análises dos gases, indicam uma redução significativa das emissões de CO, NOx, HC, quando utilizado o BDA, o que ainda será correlacionado com os índices de desempenho mecânico, para ter uma conclusão favorável à adoção do novo biocombustível.

De todos modos, a adoção crescente de biocombustíveis nas diversas frotas, sejam agrícolas, de caminhões e de ônibus, contribuem para a descarbonização e uso de energias verdes, uma vez que são produzidos a partir de fontes renováveis ou resíduos agroindustriais, que quando de origem vegetal, provém de plantas, que por sua vez realizam a fotossíntese e sequestro de CO<sub>2</sub> atmosférico.

## BIBLIOGRAFIA:

FAO. 2021. **Emissions from agriculture and forest land. Global, regional and country trends 1990–2019**. FAOSTAT Analytical Brief Series No 25. Rome.

Conselho nacional de Política Energética,  
<https://www.poder360.com.br/anuncios-do-governo/governo-eleva-adicao-de-biodiesel-ao-diesel-de-12-para-14/> Acesso em julho de 2024.

Estrada, Javier et al. **EMISSÕES DE POLUENTES DO MOTOR DE UM TRATOR AGRÍCOLA UTILIZANDO DIESEL MINERAL E BIODIESEL**. CONBEA, 2014.

Emaish, Haitham et al. **Evaluation of the performance and gas emissions of a tractor diesel engine using blended fuel diesel and biodiesel to determine the best loading stages**. Sci Rep, 11 - 9811, 2021.

Perin, Gismael et al. **Emissões de motor agrícola com o uso de diferentes tipos de diesel e concentrações de biodiesel na mistura combustível**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2015.

Pinto, Angelo C. et al. **Biodiesel: an overview**. Journal of the Brazilian Chemical Society, 2005.

Mofijur, M. et al. **Role of biofuel and their binary (diesel–biodiesel) and ternary (ethanol–biodiesel–diesel) blends on internal combustion engines emission reduction**. Energy Reviews 53, 2016.