

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS  
CAMPUS CENTRAL DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESEMPENHO DO MOTOR DE UM TRATOR AGRÍCOLA SOB DIFERENTES  
CONCENTRAÇÕES DE BIODIESEL DE SOJA**

Felipe Alves Gomes

ANÁPOLIS – GO  
OUTUBRO 2020

# **DESEMPENHO DO MOTOR DE UM TRATOR AGRÍCOLA SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE BIODIESEL DE SOJA**

**FELIPE ALVES GOMES**

Orientador: PROFESSOR D.SC. ELTON FIALHO DOS REIS

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Campus Central de Ciências Exatas e Tecnológicas como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação *Stricto sensu* em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Agroindustriais, para obtenção do título de MESTRE.

Anápolis-GO

Outubro/2020

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

G633d      Gomes, Felipe Alves

Desempenho de um motor ciclo diesel de um trator agrícola sob diferentes concentrações de biodiesel de soja / Felipe Alves Gomes; orientador Elton Fialho dos Reis. -- Goiânia, 2020.

60 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Engenharia Agrícola) -- Câmpus Central - Sede: Anápolis - CET, Universidade Estadual de Goiás, 2020.

1. Ensaio de Máquinas. 2. Dinamômetro. 3. Biocombustível. 4. Emissões. I. Reis, Elton Fialho dos, orient. II. Título.

**DESEMPENHO DO MOTOR DE UM TRATOR AGRÍCOLA SOB DIFERENTES  
CONCENTRAÇÕES DE BIODIESEL DE SOJA**

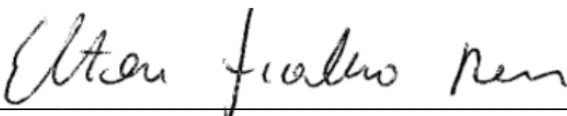
Por

Felipe Alves Gomes

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de

**MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Aprovada em: 29 / 10 / 20.



Prof. Dr. Elton Fialho dos Reis  
Orientador  
UEG/CCET



Prof. Dr. João Paulo Barreto Cunha  
Membro  
UFRRJ



Prof. Dr. Tulio de Almeida Machado  
Membro  
IF GOIANO/CAMPUS MORRINHOS

A minha mãe, Margarete Alves Gomes.

A minha vó, Aparecida Alves Bueno.

Ao meu irmão, Frederico Alves Gomes.

Pelo amor, compreensão, incentivo e  
apoio em todos os momentos.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me abençoado com o dom da vida com muita saúde, alegria, sabedoria, força, estando sempre presente e me guiando em todos os passos que tomo em minha vida.

À toda minha família, em especial à minha mãe Margarete Alves Gomes, minha avó Aparecida Alves Bueno, meu irmão Frederico Alves Gomes e meu pai Euripedes Nunes da Costa, que sempre me apoiaram e incentivaram em todos os momentos ajudando a superar as dificuldades, com todo amor e carinho.

Ao meu orientador e professor Dsc. Elton Fialho dos Reis, pelos conselhos, orientações, auxílio durante o curso.

Ao professor Itamar Rosa Teixeira, que acreditou em mim desde o começo e que sou eternamente grato;

Aos professores Maria Joselma, Suely Freitas, Tulio Machano e João Paulo pelas importantes e preciosas contribuições oferecidas nas ocasiões da qualificação e defesa.

Aos demais professores que conheci ao longo da minha vida acadêmica, em especial ao Prof. Me. Rodney Ferreira Couto, Profa. Dra. Roberta Passini e ao Prof. Dr. André José de Campos, pela atenção, paciência, orientações e prontidão às quais sempre estiveram dispostos em me ajudar e que colaboraram significativamente na minha formação.

Aos meus amigos, Rodrigo Starneck, Radson Murilo, Carlos Eduardo, Anderson, Bianca, Nayane, Renato, Verediana, Gessiane, Gabriel, Kedinna, Karina, Beethoven e Marcos Paulo pela ajuda e companheirismo nesta jornada acadêmica.

À Universidade Estadual de Goiás - UEG, Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCET, ao departamento de Engenharia Agrícola e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Aos demais funcionários desta instituição, em especial ao técnico do laboratório de Engenharia Agrícola, seu Waldeir, à secretária do programa de mestrado, Eliete Feitosa, e ao pessoal da segurança e por todo o auxílio nas tarefas diárias.

À CAPES, pelo fomento da bolsa e concessão do auxílio financeiro ao projeto, sem os quais seria completamente inviável a condução deste trabalho.

À todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigado!

## SUMÁRIO

|                                                                          |             |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                                             | <b>viii</b> |
| <b>RESUMO.....</b>                                                       | <b>ix</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                    | <b>x</b>    |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                               | <b>11</b>   |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                     | <b>13</b>   |
| 2.1 TRATOR AGRÍCOLA E SEUS COMPONENTES .....                             | 13          |
| 2.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO .....                                        | 14          |
| 2.2.1 Dinamômetro .....                                                  | 15          |
| 2.2.2 Parâmetros de desempenho e Curvas Características dos Motores..... | 17          |
| 2.3 MEIO AMBIENTE E O USO DE BIOCOMBUSTÍVEIS .....                       | 18          |
| 2.4 BIODIESEL .....                                                      | 19          |
| 2.4.1 Processo de obtenção do biodiesel.....                             | 20          |
| 2.4.2 Biodiesel no Brasil .....                                          | 21          |
| 2.4.3 Biodiesel de soja.....                                             | 22          |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                       | <b>24</b>   |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO .....           | 24          |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MÁQUINAS .....                                    | 24          |
| 3.2.1 Motor Ensaiado .....                                               | 24          |
| 3.2.2. Dinamômetro .....                                                 | 24          |
| 3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....                                      | 25          |
| 3.3.1 Combustíveis Utilizados.....                                       | 25          |
| 3.3.2 Rotações do Motor .....                                            | 26          |
| 3.4 ENSAIO DE DESEMPENHO.....                                            | 27          |
| 3.5 VARIÁVEIS .....                                                      | 28          |
| 3.5.1 Torque e Potência.....                                             | 28          |
| 3.5.1.1 Torque.....                                                      | 28          |
| 3.5.1.2 Potência .....                                                   | 29          |
| 3.5.2 Consumo de combustível .....                                       | 29          |
| 3.5.2.1 Consumo horário .....                                            | 31          |
| 3.5.2.2 Consumo específico.....                                          | 32          |
| 3.5.3 Temperatura dos gases emitido pelo motor .....                     | 32          |
| 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....                                            | 33          |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                   | <b>34</b>   |
| 4.1 TORQUE E POTÊNCIA .....                                              | 34          |

|                                             |           |
|---------------------------------------------|-----------|
| 4.2 CONSUMO HORÁRIO .....                   | 38        |
| 4.3 CONSUMO ESPECÍFICO .....                | 40        |
| 4.5 TEMPERATURA DOS GASES DE EXAUSTÃO ..... | 41        |
| <b>5. CONCLUSÕES.....</b>                   | <b>45</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>     | <b>46</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                         | <b>58</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1. Índices de perda de potência para tratores agrícolas. ....                                                                                                                             | 14 |
| FIGURA 2. Freio de Prony. ....                                                                                                                                                                   | 16 |
| FIGURA 3. Curvas características de desempenho do motor. ....                                                                                                                                    | 18 |
| FIGURA 4. Reação de transesterificação produzindo glicerol e ésteres (biodiesel).....                                                                                                            | 20 |
| FIGURA 5. Produção anual de biodiesel no Brasil e teor de biodiesel puro adicionado ao diesel.<br>.....                                                                                          | 22 |
| FIGURA 6. Produção mundial de soja estimada para a safra de 2019/20 em milhões de<br>toneladas. ....                                                                                             | 23 |
| FIGURA 7. Dinamômetro marca AW modelo NEB 800.....                                                                                                                                               | 25 |
| FIGURA 8. Diferentes concentrações de biodiesel no diesel automotivo tipo B utilizadas no<br>ensaio do motor de ciclo diesel do trator. ....                                                     | 26 |
| FIGURA 9. Conjunto trator/dinamômetro para o ensaio do motor de ciclo diesel.....                                                                                                                | 28 |
| FIGURA 10. Medidor de combustível tipo fluxômetro volumétrico, marca Oval Corporation,<br>modelo M-III LSF41. ....                                                                               | 30 |
| FIGURA 11. Esquema do circuito de alimentação e determinação do consumo de combustível<br>do motor do trator utilizado no ensaio.....                                                            | 31 |
| FIGURA 12. Monitor ambiental de combustão e emissão de gases utilizado no ensaio para<br>determinar a temperatura de emissão dos gases de exaustão. ....                                         | 33 |
| FIGURA 13. Médias de torque em função das diferentes rotações do motor.....                                                                                                                      | 35 |
| FIGURA 14. Médias de potência em função das diferentes rotações do motor. ....                                                                                                                   | 36 |
| FIGURA 15. Superfície de resposta representando o efeito das diferentes concentrações de<br>biodiesel misturado ao diesel e das rotações no consumo horário de combustível.....                  | 38 |
| FIGURA 16. Consumo horário de combustível em função das diferentes rotações do motor.                                                                                                            | 39 |
| FIGURA 17. Superfície de resposta representando o efeito das diferentes concentrações de<br>biodiesel misturado ao diesel e das rotações no consumo específico de combustível. ....              | 40 |
| FIGURA 18. Superfície de resposta representando o efeito das diferentes concentrações de<br>biodiesel misturado ao diesel e das rotações na temperatura dos gases de exaustão do motor.<br>..... | 42 |
| FIGURA 19. Temperatura dos gases de exaustão em função das diferentes rotações do motor.<br>.....                                                                                                | 43 |

## **DESEMPENHO DO MOTOR DE UM TRATOR AGRÍCOLA SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE BIODIESEL DE SOJA**

### **RESUMO**

Objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho do motor de um trator agrícola submetido a diferentes concentrações de biodiesel. O experimento foi realizado no Laboratório de Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual de Goiás, no Câmpus Central Sede Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas. Realizou-se ensaios dinamométricos, por meio da tomada de potência, em um trator agrícola da marca New Holland modelo TT4030. O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial de tratamentos 5x7, em parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas por cinco concentrações de biodiesel (B10, B25, B50, B75, B100) e as subparcelas constituídas por sete rotações do motor (1200, 1360, 1600, 1840, 2090, 2330, 2490 rpm), com três repetições por tratamento. Os ensaios foram conduzidos conforme a norma da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - código 2. Foram determinadas as seguintes variáveis: torque, potência, consumo horário e específico de combustível e temperatura dos gases de exaustão. Os combustíveis causaram alterações no desempenho do motor, as concentrações intermediárias (B25, B50 e B75) não proporcionaram perdas significativa do torque e da potência, diferença evidenciada apenas com o uso de biodiesel puro, o aumento da rotação e concentração de biodiesel na mistura proporcionaram elevação no consumo horário, consumo específico e temperatura dos gases de exaustão. Concentrações contendo até 50% de biodiesel em sua composição (B50) podem substituir parcialmente o óleo diesel comercial (B10), sem perdas significativas do desempenho do motor.

**Palavras-chave:** Eficiência energética; Dinamômetro; Biocombustíveis; Ciclo Diesel.

## **ENGINE PERFORMANCE OF AN AGRICULTURAL TRACTOR UNDER DIFFERENT CONCENTRATIONS OF SOYBEAN BIODIESEL**

### **ABSTRACT**

The objective of this work was to evaluate the engine performance of an agricultural tractor subjected to different concentrations of biodiesel. The experiment was carried out at the Agricultural Engineering's Laboratory of Universidade Estadual de Goiás, at Câmpus Central Sede Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas. Dynamometric tests were performed, through the power take-off, on a New Holland model TT4030 agricultural tractor. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 5x7 factorial treatment scheme, in subdivided plots, with plots consisting of five concentrations of biodiesel (B10, B25, B50, B75, B100) and subplots consisting of seven engine rotations (1200, 1360, 1600, 1840, 2090, 2330, 2490 rpm), with three repetitions per treatment. The tests were conducted in accordance with the Organization for Economic Cooperation and Development - code 2. The following variables were determined: torque, power, hourly and specific fuel consumption and temperature of the exhaust gases. The fuels caused changes in the performance of the engine, the intermediate concentrations (B25, B50 and B75) did not provide significant losses of torque and power, a difference evidenced only with the use of pure biodiesel, the increase in the rotation and concentration of biodiesel in the mixture provided increase in hourly consumption, specific consumption and temperature of the exhaust gases. The B25 concentration can partially replace diesel oil, without significant losses in engine performance.

**Keywords:** Energy efficiency; Dynamometer; Biofuels; Diesel cycle.

## 1. INTRODUÇÃO

As máquinas motoras são os equipamentos mais empregados nas propriedades agrícolas, sendo utilizada no auxílio do trabalho no campo por meio da geração de força mecânica. A escolha desta ferramenta pelos produtores baseia-se cada vez mais em critérios relacionados a conforto, desempenho e eficiência energética, devido sua grande influência nos custos da produção agrícola (SILVEIRA e SIERRA, 2010; ALVES e REIS, 2018).

A maioria das máquinas utilizadas no meio rural possuem motores de ciclo Diesel, devido sua robustez e confiabilidade, cujo desempenho pode ser conhecido por meio de ensaios dinamométricos, que permitem um rápido diagnóstico do seu funcionamento e identificação de suas características básicas (FARIAS, 2014). Os principais parâmetros utilizados para se estimar este desempenho são o torque, a potência e o consumo de combustível, sendo a avaliação da temperatura dos gases de escape também um indicador que permite verificar de forma indireta o desempenho por meio da eficiência no processo de combustão (GENG et al., 2017; MOMENNIA e MOHAMMADEBRAHIM, 2020; REIS et al., 2013).

. O estudo de novas fontes de combustíveis em termos de eficiência, ainda apresentam grande importância, evitando perdas de rendimento e mantendo o desempenho (GUARIEIRO et al., 2011).

A crescente conscientização socioambiental, associada a tendência de escassez do petróleo e suas constantes oscilações de preço, são os principais fatores que impulsionam a busca por novas fontes alternativas e renováveis de energia, como os biocombustíveis, por serem menos poluentes, além de contribuir para o aumento da diversidade da matriz energética, geração de empregos e redução da emissão de gases poluentes (RIBAS et al., 2016; SANTANA et al., 2017; SILVA et al., 2017).

Os biocombustíveis consistem em toda fonte de energia derivada da biomassa renovável, que pode ser de origem vegetal, como a soja, girassol, dendê, mamona e demais oleaginosas, ou de origem animal, como banha de porco, gordura de frango e sebo bovino. O biodiesel é um exemplo destas fontes, cuja principal rota de produção hoje empregada é o processo químico denominado transesterificação (COSTA, 2017).

O biodiesel vem ganhando enfoque mundial como potencial combustível alternativo para a substituição parcial ou completa do óleo diesel de origem mineral (AGARWAL et al., 2017). Uma de suas principais vantagens, diferentemente dos outros tipos de combustíveis limpos, é possuir a capacidade de uso sem a necessidade de adaptações ao motor, podendo

atender assim toda a frota já existente movida a óleo diesel (VOLPATO et al., 2009; ESTEVES e PEREIRA, 2016).

No Brasil não é diferente, produção de biodiesel é crescente tanto em termos de produção de matéria prima quanto em capacidade industrial, favorecido pelas boas condições de clima e solo do país. A principal matéria-prima utilizada para a produção de biodiesel no Brasil é a soja, devido seu cultivo em escala, tornando-se a única oleaginosa com capacidade de produção suficiente para atender a demanda imediata de matéria prima para fins energéticos (RODRIGUES et al., 2020).

Tendo em vista a aplicabilidade do ensaio de motores, em conjunto com os conhecidos benefícios do uso de biocombustíveis, o presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de um motor ciclo diesel de um trator agrícola sob diferentes concentrações de biodiesel de soja adicionado ao óleo diesel automotivo interior (B10).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 TRATOR AGRÍCOLA E SEUS COMPONENTES

O trator agrícola é uma máquina auto propelida provida de meios que dão apoio estável sobre a superfície e a capacita a tracionar, transportar e fornecer potência mecânica para movimentar máquinas e implementos agrícolas (MIALHE, 1996).

Seu desenvolvimento revolucionou o trabalho no campo, automatizando e facilitando várias atividades que anteriormente eram realizadas de forma manual. Em conjunto com implementos, a partir do século XIX, modificou definitivamente o modo de produção, possibilitando assim o aumento da produtividade no campo e a elevação da oferta de produtos agrícolas ao mundo (VIAN et al., 2013).

Hoje esta máquina possui importância singular, tido como principal fonte de potência, se tornou indispensável na produção agrícola estando presente em praticamente todas as fases do processo produtivo (CHECCHIO GROTTA et al., 2008; COSTA, 2015; RINALDI et al., 2016; SOUSA et al., 2018). Desta forma, tem-se verificado, nestes últimos anos, um significativo aumento na fabricação de maquinário agrícola em função da modificação destas técnicas de produção, cada vez mais eficientes, automatizadas e precisas, visando o aumento na rentabilidade da atividade com redução de custos e maximização do potencial produtivo (COSTA et al., 2015; JUNGER e DIOTTO, 2018).

Dentre os principais componentes que integram esta máquina podemos citar o motor, responsável por fazer com que o trator realize trabalho e assim excute suas funções, sendo os motores de combustão interna ciclo Diesel a principal opção de fonte de potência para o acionamento de máquinas agrícolas. Especialmente nos casos em que se necessita elevados fatores de carga e potência, baixo consumo, grande confiabilidade e onde o peso não é um fator limitante, como é o caso do seu emprego em tratores, colhedoras auto propelidas, conjuntos motobombas, entre outros (MIALHE, 1996; REIS et al., 1999).

Neste tipo de motor, diferentemente do ciclo Otto, ocorre somente a admissão de ar puro, que ao ser comprimido pelo pistão, se aquece o suficiente para inflamar o combustível pulverizado no interior da câmara de combustão (MAHLE, 2016).

Ainda que seja comum pensar no trator agrícola utilizado como unidade de força de tração, cabe lembrar a existência de outros pontos de fornecimento de potência, como o sistema de levante hidráulico e a tomada de potência (TDP). O uso individual ou combinado destes recursos, em conjunto com outras máquinas ou implementos, diversifica o uso desta máquina no campo (IACONO, 2017).

Para efeitos da avaliação energética de um determinado conjunto motriz, a eficiência pode ser calculada em qualquer ponto onde se esteja medindo potência, como eixos motrizes e barra de tração (FIORESE, 2014).

O sistema de transmissão é o responsável por transmitir a potência até estes pontos de utilização, tendo também como função desmultiplicar a rotação proveniente do motor e, proporcionalmente, elevar o torque. No entanto, parte desta energia é dissipada pelos elementos que o compõem (embreagem, câmbio, diferencial e redução final). Segundo a American Society of Agricultural Engineers (ASAE, D497.4, 2003) as perdas em função dos diferentes mecanismos a serem utilizados são apresentados abaixo (Figura 1).

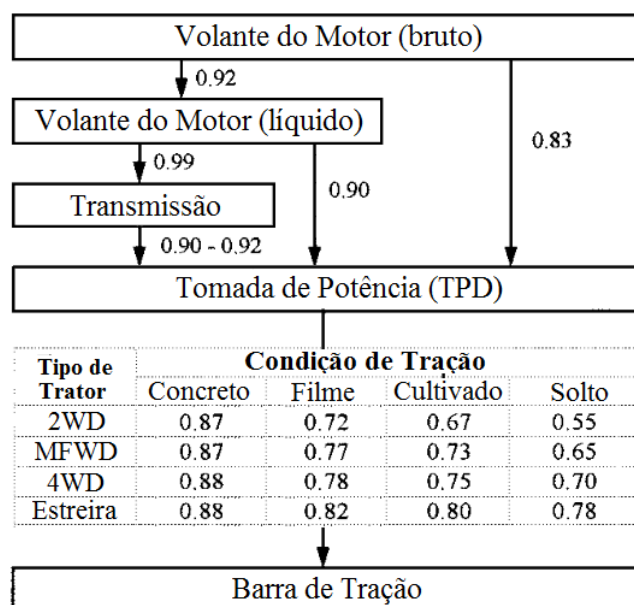


FIGURA 1. Índices de perda de potência para tratores agrícolas.  
Fonte: Adaptado de ASAE D497.4 (2003).

A tomada de potência (TDP), que consiste em um eixo estriado localizado na parte traseira do trator, acima da barra de tração, tem como função transmitir potência para o acionamento de máquinas e implementos acoplados ao trator. Estes dispositivos são projetados para trabalhar em duas rotações padronizadas (540 ou 1000 rpm) devido a necessidade dos fabricantes de implementos em ter parâmetros pré-estabelecidos para nível de projeto (SANTOS, 2019). Por estes motivos, Mialhe (1996) relembra que o ensaio da TDP também se torna uma maneira indireta de se avaliar o desempenho do motor.

## 2.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

De acordo com Mialhe (1987) a avaliação de desempenho de máquinas agrícolas consiste na caracterização e julgamento de seus atributos, baseado nos conhecimentos

científicos e tecnológicos implícitos no projeto e construção, em função da missão que essas máquinas têm no processo de produção agropecuária ou florestal.

Um trator pode ser ensaiado sob vários aspectos, visando atender interesses que vão desde fabricantes ao fornecer dados que permitam aprimorar seu produto, visto também que nem sempre as empresas possuem centro de ensaios, até os interesses dos usuários finais disponibilizando dados que lhe permitam a adoção de critérios racionais para a seleção de tratores e máquinas agrícolas (FILHO e SANTOS, 2001).

O ensaio de máquinas agrícolas vem sendo realizado há várias décadas e direcionado para o levantamento de dados que possibilitem avaliar características de desempenho. Esta atividade é realizada em três ambientes principais: em laboratórios, em dispositivos de simulação e no campo (MIALHE, 1996).

No entanto, Russini (2012) ressalta a complexidade da determinação do desempenho em nível de campo devido as inúmeras variáveis envolvidas e que devem ser analisadas, sendo assim a solução encontradas por vários pesquisadores foi a padronização por meio de ensaios realizados em laboratórios, pista de concreto e dispositivos de simulação.

Um exemplo deste tipo de padronização são os ensaios dinamométricos, que possibilitam a análise do desempenho do motor com um rápido diagnóstico de seu funcionamento e obtenção de informações importantes para a tomada de decisão, como no momento da compra de uma máquina agrícola, tornando-se uma importante ferramenta na confirmação da veracidade dos dados fornecidos pelos fabricantes ao consumidor final (FARIAS, 2014; FARIAS et al., 2016).

Neste tipo de ensaio um equipamento fundamental e responsável pela avaliação do desempenho do motor é o dinamômetro, sendo hoje parte de um conjunto de ferramentas de ensaio e investigação de motores, denominado banco de ensaio, presente em fábricas de motores, oficinas de reparação dos seus representantes, instituições de pesquisa e certificação (FARIAS, 2014; PEÇA, 2018).

### **2.2.1 Dinamômetro**

Dinamômetros são dispositivos que tem como função básica medir força, no caso de motores, por meio da aplicação de carga resistente (SOUZA, 2017). Estes instrumentos tem seu princípio de funcionamento baseado no primeiro dispositivo do tipo, conhecido como Freio de Prony (Figura 2), em que o equilíbrio entre os torques do motor ensaiado com o do sistema de

frenagem e obtido pela regulagem da pressão de uma cinta e lido por uma balança fixa a um barra de comprimento conhecido (BRUNETTI, 2012).

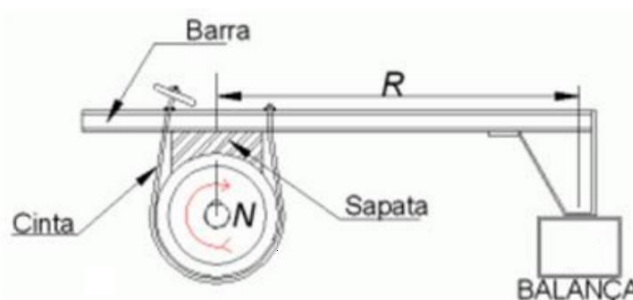


FIGURA 2. Freio de Prony.  
Fonte: Pereira, 1999.

Diversos tipos destes equipamentos foram criados ao longo do tempo conforme os diferentes problemas relacionados com a medição de força. Se tratando de ensaio de motores, os principais tipos de dinamômetros encontrados na literatura são: dinamômetro de inércia, dinamômetros elétrico (corrente contínua ou alternada), dinamômetro de correntes de Foucault e dinamômetros hidráulico (CLARA et al., 2007; HODGSON, 1991; MARTINS, 2006; BRUNETTI, 2012; VILELA, 2018; SOUZA, 2017; PABÓN et al., 2019).

Dentre estes, o dinamômetro do tipo hidráulico é o mais empregado em ensaio de motores a combustão (KILLEDAR, 2012; JÚNIOR, 2015). Este tipo de equipamento se destaca por ser mais simples, de menor preço e custo de manutenção, suportar operar com elevadas cargas e velocidades de rotação, (MARTINS, 2006; CORTI et al., 2019).

Contém em seu interior duas partes principais, o rotor, parte móvel composta por elementos rotativos em forma de concha ou disco plano de que vai acoplado ao eixo principal, e o estator, parte estacionária composto por uma carcaça estanque. A ligação entre ambas as partes é estabelecida pela força centrífuga e tensão de cisalhamento gerada por meio da circulação de fluido no interior do equipamento, ocorrendo assim a transferência de energia (MARTINS, 2006; CROLLA, 2009; BRUNETTI, 2012).

Praticamente todos equipamentos seguem o mesmo princípio, cujo objetivo é gerar um torque resistente a rotação do motor. Contudo, no campo da hidráulica existem algumas variações destas máquinas, como exemplo o dinamômetro de volume variável, em que a variação do torque aplicado é feita alterando-se a quantidade (massa) do fluido em circulação por meio de uma válvula. Assim que se estabiliza uma determinada rotação significa que existe um equilíbrio entre o torque do dinamômetro com o produzido pelo motor, portanto, conhecendo o mecanismo de travão, é possível determinar o binário produzido pelo motor. Este

tipo de equipamento também necessita de um sistema de circulação de água aberto para sua refrigeração (FERNANDES, 2017).

Albuquerque (2015) ressalta a variedade de aplicações de um dinamômetro em conjunto com demais instrumentos, integrando um banco de ensaio de motores, que vai desde a calibração, análise de desempenho e diagnósticos de falhas em motores, até estudo envolvendo o uso de novos combustíveis, emissões de gases, lubrificantes ou novos componentes.

### 2.2.2 Parâmetros de desempenho e Curvas Características dos Motores

Sobre bancada dinamométrica, o desempenho termodinâmico de um motor pode ser caracterizado e avaliado por meio de alguns parâmetros característicos. Dentre os principais parâmetros citados na literatura e utilizados neste tipo de avaliação temos: torque, potência e consumo específico de combustível (HEYWOOD, 1988; SOUZA et al., 2016; ALVES, 2017; BERNARDI, 2019).

Este conjunto de propriedades podem ser representadas de forma gráfica por meio de curvas obtidas em função da rotação do motor (Figura 3), permitindo assim uma melhor observação de seu comportamento ao longo do ensaio bem como a comparação entre diferentes tipos de motores e condições de operação (BRUNETTI, 2012).

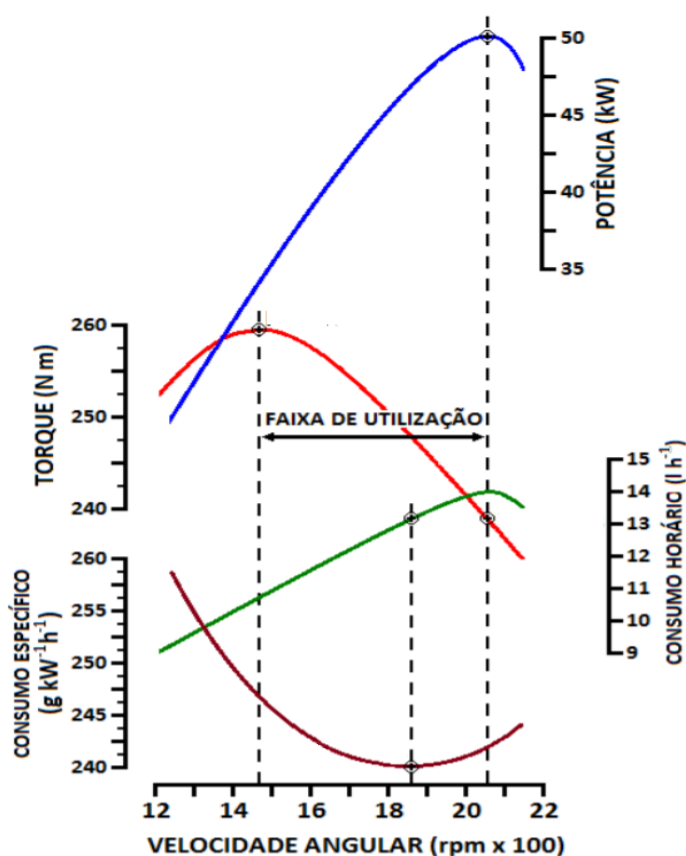


FIGURA 3. Curvas características de desempenho do motor.  
Fonte: Adaptado de Mialhe (1996).

Um exemplo de teste para a obtenção destas curvas de desempenho é o ensaio realizado em velocidade continuamente variável ao longo de toda a faixa de utilização do motor (FERNANDES, 2017). No entanto, o mesmo autor ressalta que estas curvas também podem ser geradas a partir de parâmetros obtidos de um conjunto de testes permanentes, ou seja, com rotações fixas. Como explicado por Oiz (2010) citado por Aguiar (2016), este tipo de ensaio consiste em aplicar cargas que vão reduzindo a velocidade de giro do valor máximo até o mínimo e, para cada intervalo de regime constante de rotação, se registra o torque, a potência e o consumo de combustível, sendo o ponto mais interessante de funcionamento aquele que apresenta uma melhor relação entre potência gerada e a quantidade de combustível consumida.

### 2.3 MEIO AMBIENTE E O USO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

A preocupação com as questões ambientais bem como o uso responsável dos recursos naturais, de modo a garantir um consumo crescente e sustentável, tem ganhado grande relevância nestas últimas décadas (SOUZA et al., 2018; NARDI et al., 2019; XIAO et al., 2019).

Atualmente, a humanidade se confronta com um dos fatos mais grave deste problema, que são as mudanças climáticas. Essas alterações devem-se, em grande parte, à elevada quantidade de gases lançados na atmosfera intensificando assim o efeito estufa em nosso planeta (BHATNAGAR, 2016; LIU et al., 2017).

Sabe-se que a queima de combustíveis fósseis é uma das principais fontes emissoras destes gases causadores do efeito estufa e da poluição atmosférica, responsáveis também pela ocorrência de chuvas ácidas e doenças respiratórias, e que seu uso indiscriminado pode vir a ocasionar danos irreversíveis ao mundo, impactando significativamente nas futuras gerações (ABEDIN et al., 2016; WEI e GENG, 2016; RODRIGUES et al., 2019).

No entanto, o petróleo e seus derivados são, ainda hoje, as principais fontes utilizadas na produção de combustível em nosso planeta (EIA, 2019). Além da questão ambientais, outros fatores como sua futura escassez, dependência da importação e oscilação do mercado internacional corroboram para a busca de novos recursos energéticos (SANTOS, 2017; ARAÚJO, 2018). Assim, tem-se vivenciando uma crescente movimentação em torno da alteração da matriz energética mundial, com o estímulo a busca de novas fontes de energia que possam oferecer altas eficiências e uma combustão mais limpa, em que os combustíveis de

fontes renováveis surgem como uma alternativa necessária (LEWISKI, 2017; CORREA et al., 2017; PAULO, 2019).

Os biocombustíveis são materiais orgânicos de origem biológica (animal ou vegetal), não fósil, biodegradáveis, oriundos de fontes renováveis e obtidos a partir da energia do sol armazenada na forma química (PINTO, 2018). A exemplo de biocombustíveis temos o bioetanol, biodiesel, biogás, biomassa, biometanol, bioéter dimetílico e bio-hidrogênio (BRITO, 2013 *apud* SILVA, 2014).

O biodiesel aparece como uma opção promissora de biocombustível, contribuindo para a redução dos gases poluentes. De acordo com Mofijur et al. (2016), sua adição ao diesel, mesmo em pequena proporção, resulta em uma potencial redução dos gases de efeito estufa em até 80%. Resultado interessante para países como o Brasil, onde existem leis federais que incentivam cada vez mais a produção deste biocombustível por meio da obrigatoriedade de sua mistura ao diesel fóssil (DANTAS, 2018).

Além das questões ambientais, vale ressaltar que a utilização de biocombustíveis também proporciona uma série de benefícios de âmbito social e econômico. A exemplo o incremento na capacidade produtiva, desenvolvimento de alguns setores (agricultura e indústria), geração de emprego e renda (SAMPAIO, 2009), agrega valor às matérias-primas (LIMA et al., 2015), contribuindo também para a manutenção do trabalhador no campo, reduzindo êxodo rural (SANTOS, 2012). Outro ponto importante abordado por Pinto (2018) é a segurança energética promovida pela diversificação estratégica das fontes de energia, importante em países instáveis politicamente como o Brasil, até mesmo para evitar futuras crises causadas por problemas no fornecimento de combustível fóssil.

## 2.4 BIODIESEL

O Biodiesel é um biocombustível alternativo, renovável, biodegradável e ambientalmente correto. Definido, conforme o artigo 2º da resolução nº 45 de 2014, como um combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa (BRASIL, 2014). São derivados dos triglicerídeos, matéria-prima utilizada para a sua produção, que podem ser as gorduras de origem animal (banha, sebo), os óleos vegetais (sementes oleaginosas), ou até mesmo óleos residuais (frituras) (LIMA et al., 2015).

### 2.4.1 Processo de obtenção do biodiesel

Existem variados meios de obtenção do biodiesel, sendo os mais usuais os processos de craqueamento térmico e, principalmente, o de transesterificação. O craqueamento ou pirolise consiste resumidamente em um processo térmico de fornecimento de energia em forma de calor para a quebra das ligações entre carbonos, obtendo-se uma molécula de hidrocarboneto mais simples. Embora resulte em um produto final de alta qualidade, o elevado custo deste método acaba por inviabilizar o processo (ESTEVES e PEREIRA, 2016).

A transesterificação é atualmente o método mais usual e viável economicamente, ocorre por meio da reação de triglicerídeos (óleos vegetais ou gorduras) com alcoóis primários de cadeia curta (metanol ou etanol), na presença de um catalisador, dando origem a uma mistura de ésteres monoalquílicos de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol (SUAREZ e MENEGHETTI, 2013; ANJOS, 2018). Na Figura 4 é apresentada a reação de transesterificação.

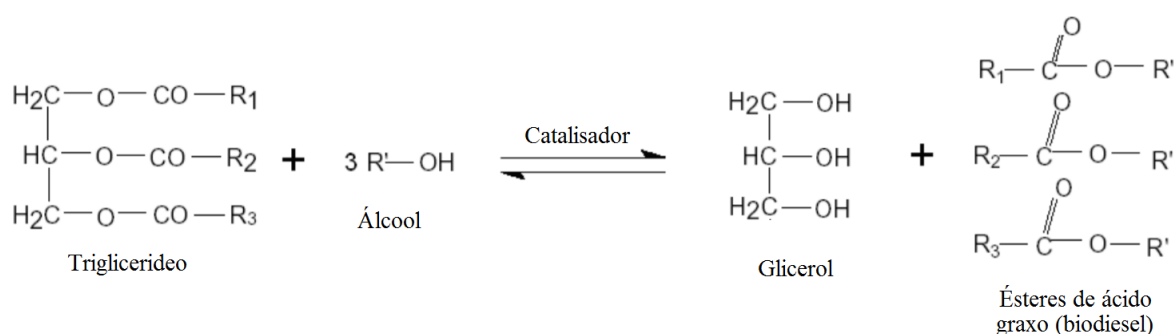


FIGURA 4. Reação de transesterificação produzindo glicerol e ésteres (biodiesel).  
Fonte: Adaptado de Cunha, 2011.

A composição estrutural dos triglicerídeos varia em função da origem do óleo ou da gordura, com diferenciação no tamanho e número de insaturações em suas cadeias, influenciando diretamente nas propriedades físico-químicas do biocombustível obtido (PINHO e SUAREZ, 2017).

O álcool de cadeia curta empregado na reação costuma ser o metanol ou etanol devido suas propriedades físico-químicas, oferecendo maior rendimento ao processo e evitam a formação de compostos saponáceo (KUCEK, 2004). Se faz necessário o uso deste produto em excesso para favorecer o deslocamento da reação no sentido de formação dos produtos (SHARMA et al., 2008; SANTOS, 2018). No Brasil, o principal álcool utilizado no processo é o etanol pelo fato do país ser um dos maiores produtores e exportadores deste produto, resultando em menor custo que o metanol (BUENO, 2019), além da questão ambiental por se tratar de um combustível “limpo”, tornando o processo totalmente renovável (RAMOS et al., 2003; JEE e LEE, 2014; DANTAS, 2017)

O subproduto gerado em conjunto com biodiesel é a glicerina ou também conhecido por glicerol. Em sua forma pura, este material possui uma série de aplicações, como: para as indústrias de alimentícia, na conservação de alimentos; na indústria de cosméticos, presente em produtos de beleza; na química, na fabricação de tintas, resinas, vernizes e detergentes; na farmacêutica, compondo cápsulas, xaropes e pomadas e até mesmo indústria agropecuária, como matéria prima para a fabricação de ração animal devido ao seu alto valor energético (APOLINÁRIO et al., 2012).

O rendimento da reação de transesterificação dependerá de outros fatores que também favoreçam o deslocamento químico no sentido de formação do biodiesel como: temperatura no momento da reação, tipo e concentração de catalisador empregado no processo, agitação do meio reacional, tipos e quantidades de ácidos graxos contidos no óleo (MA E HANNA, 1999; SANGALETI, 2012; TALEBIAN-KIAKALAIEH et al., 2013; DANTAS, 2017; BUENO, 2019).

#### **2.4.2 Biodiesel no Brasil**

O primeiro esforço nacional relacionado a substituição do combustível fóssil por biocombustível iniciou-se na década de 70 com a criação do Programa Nacional do Alcool – Proálcool. Este programa tinha por objetivo diminuir a dependência do Brasil em relação aos elevados e instáveis preços do petróleo importado, devido crise do petróleo em conjunto com a queda do preço do açúcar na época (NITSCH, 1991; ANDRADE et al., 2009; EAGLIN, 2019).

No entanto, até o final da década de 90 pouco foi investido neste tipo de energia, mas devido a pressões de cunho ambiental e econômico, o governo brasileiro se viu obrigado a ampliar sua matriz energética e para isto implementou o uso de óleos vegetais transesterificados (CUNHA, 2011).

A criação de uma política para o biodiesel no Brasil ocorreu em dezembro de 2004 com o lançamento, pelo governo federal, do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) com o objetivo de empregar de forma sustentável, técnica e econômica a produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional. As principais diretrizes do programa hoje são: (i) implantar um programa sustentável, promovendo a inclusão produtiva da agricultura familiar; (ii) garantir preços mínimos, qualidade e suprimento; e (iii) produzir o biodiesel a partir de diferentes matérias-primas, fortalecendo as potencialidades regionais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019).

Segundo a legislação vigente, cabe à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) autorizar, regular e fiscalizar a comercialização de biocombustíveis, atuando nas diversas áreas do processo que vai desde a produção, armazenamento e transporte, até a comercialização, importação, exportação e venda do produto (ANP, 2019).

Carraro et al. (2019) ressaltam a política de obrigatoriedade da adição de biodiesel ao diesel fóssil e a evolução progressiva destes percentuais como um dos fatores de grande importância para o avanço do biodiesel no país (Figura 6). Teve início em 2008, a partir do artigo 2º da Lei nº 11.097/2005, com a adição de 2% de biodiesel, sendo sucessivamente ampliado até o percentual atual de 11%, o que resultou em uma produção em torno de 5,9 bilhões de litros em 2019 (ANP, 2020).

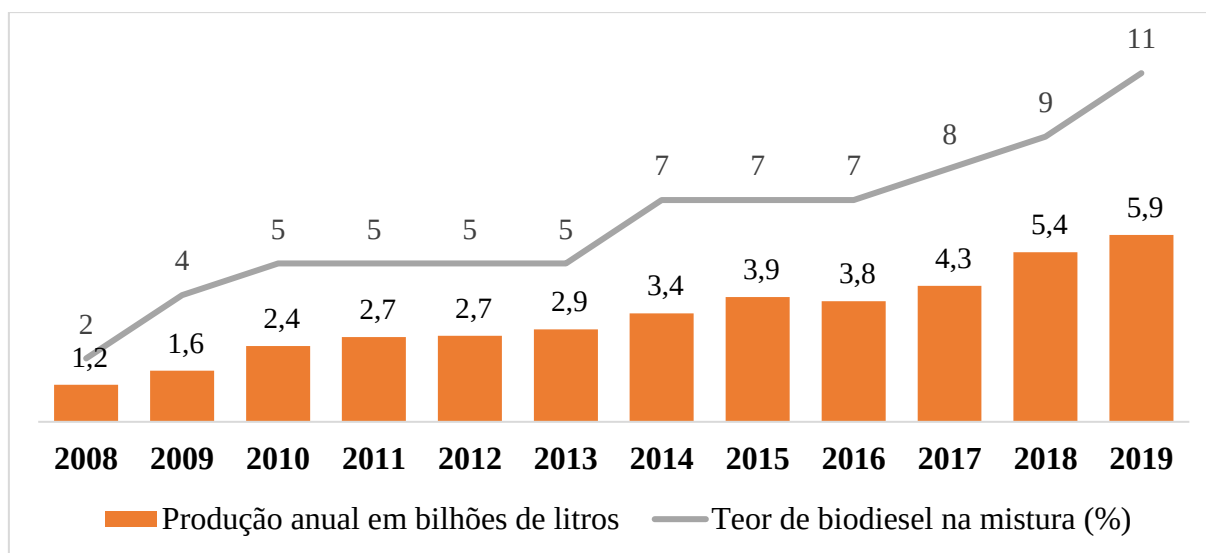


FIGURA 5. Produção anual de biodiesel no Brasil e teor de biodiesel puro adicionado ao diesel.  
Fonte: ANP, 2020.

Novas políticas nacionais visam fomentar cada vez mais a produção e uso de biocombustíveis, como o projeto de lei (PLS 304/2017) aprovado em 2020 pela Comissão de Constituição e Justiça do senado que proíbe a venda de veículos novos movidos a combustíveis fósseis a partir de janeiro de 2030, traçando horizontes promissores para o biodiesel na Matriz Energética Brasileira.

### 2.4.3 Biodiesel de soja

Com sua extensão territorial e condições edafoclimáticas favoráveis, o Brasil apresenta um enorme potencial para a produção de diferentes espécies oleaginosas que podem ser utilizadas na fabricação do biodiesel (NIETIEDT, 2011; SILVA, 2012; VIEGAS e ARANTES, 2018). No entanto, a viabilidade de cada cultura destinada a produção de biodiesel depende de uma série de fatores técnico, econômico e socio ambientais, como: teor em óleo, produtividade,

sistema produtivo, sazonalidade e custo de produção (PARENTE et al., 2003; RAMOS et al., 2003).

Dentre as várias espécies em potencial para a produção de biodiesel, a soja é a principal matéria-prima, pelo fato de o Brasil possuir uma cadeia produtiva, já estruturada e eficiente, capaz de gerar excedentes consideráveis devido à grande disponibilidade do grão, cultivado em larga escala no país, suprimindo a demanda do mercado alimentício e dos avanços na produção de biocombustível. (MACHADO, 2003; CASTRO, 2015; BUENO, 2019).

A cultura da soja (*Glycine max*) representa uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal, sendo considerada uma das oleaginosas mais estratégicas do mundo. Seu grão, farelo e óleo são commodities hoje utilizadas para a produção de diversos produtos (Silva et al., 2016).

O Brasil hoje é o segundo maior produtor mundial de soja, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, fechando a safra de 2018/19 com 35,87 milhões de hectares cultivados, produção de 115 milhões de toneladas do grão e tendência de crescimento de 2,6% na área cultivada para a safra de 2019/20 (CONAB, 2019). A previsão para a safra de 2019/20 é de que assuma a primeira posição e se consolide como o maior produtor mundial, com participação em cerca de 36% da produção global, seguido dos Estados Unidos com 29% e Argentina com 16% (USDA, 2020).

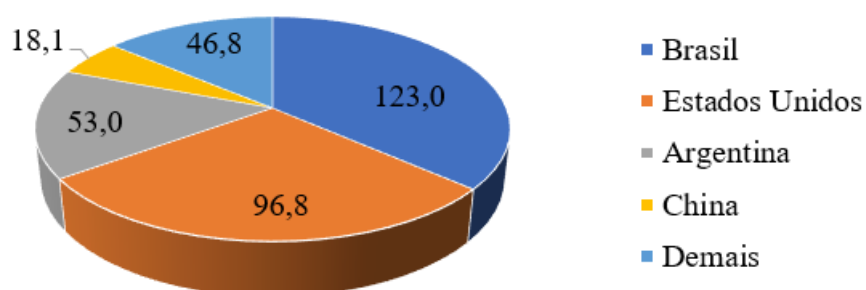


FIGURA 6. Produção mundial de soja estimada para a safra de 2019/20 em milhões de toneladas.  
Fonte: USDA, 2020.

Todavia, qualquer que seja a nova proposta de combustível utilizada, deve-se antes estudar a sua viabilidade, estudo este que envolve uma série de fatores técnicos, econômicos e ambientais sociais como algum já citados. Nesse contexto, torna-se de grande relevância o desenvolvimento de linhas de pesquisas envolvendo novas proposta de combustíveis alternativos ao diesel, que seja capaz de reduzir os impactos ambientais e ao mesmo tempo manter um bom desempenho.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS**

Os ensaios foram conduzidos nas dependências do Laboratório de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Central, Sede Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas, local com coordenadas geográficas de 16°22'56" latitude Sul e 48°56'46" longitude Oeste e altitude de 1097 m. Segundo a classificação de Köppen (1990), o município de Anápolis - Goiás apresenta clima Aw, com características climáticas quentes, úmidas a semi-árido e temperatura média anual do ar de 25 °C.

#### **3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MÁQUINAS**

##### **3.2.1 Trator Ensaiado**

Para realização dos ensaios foi utilizado um motor diesel aspirado da Marca New Holland, de quatro cilindros, com cilindrada total de 3908 cm<sup>3</sup> e potência nominal de 55,1 kW (75 cv) e torque máximo de 260 N.m segundo NBR 1585 (ABNT, 1996). O motor possui sistema de injeção de combustível composto por bomba injetora rotativa da marca Bosch, sistema de arrefecimento a água, filtro a ar do tipo seco com duplo elemento e equipa o trator agrícola New Holland modelo TT4030, ano 2010, com tração dianteira auxiliar e 1030 horas de trabalho. Este trator é equipado com uma TDP do tipo independente, com sistema de acionamento mecânico e velocidade nominal de operação de 540 rpm ( a 1.967 rpm do motor).

##### **3.2.2. Dinamômetro**

Para avaliação de desempenho do motor utilizou-se um dinamômetro mecânico, acionado hidraulicamente e refrigerado à água, da marca AW modelo NEB 800, que permite aplicar níveis variáveis e controláveis de carga ao motor através de um freio, por meio da tomada de potência (TDP) do trator (Figura 7).



FIGURA 7. Dinamômetro marca AW modelo NEB 800.

Fonte: Adaptado de AW dynamometer, 2018.

### 3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial de tratamentos 5x7, em parcelas subdivididas, em que as parcelas foram compostas por cinco concentrações de biodiesel (B10, B25, B50, B75, B100), e as subparcelas constituídas por sete rotações do motor (1200, 1360, 1600, 1840, 2090, 2330, 2490 rpm), totalizando trinta e cinco tratamentos, com três repetições por tratamento e cento e cinco unidades experimentais.

#### 3.3.1 Combustíveis Utilizados

O óleo diesel utilizado para a realização do ensaio foi obtido na rede de abastecimento local, sendo o mesmo indicado para o uso em motores de ciclo diesel e classificado, pela legislação vigente, como diesel automotivo tipo B (BRASIL, 2013).

O biodiesel utilizado, produzido a partir da transesterificação de óleo de soja, foi fornecido por uma empresa comercial produtora deste tipo de combustível, localizada no município de Anápolis – Goiás.

Em seguida, foram produzidos os diferentes tipos de combustíveis com base na variação das concentrações de biodiesel misturado ao óleo diesel mineral (Figura 8), com os valores da mistura expressos em termos de volume (Tabela 1).

TABELA 1. Relação de misturas utilizadas no experimento

| Tratamentos | Composição                               |
|-------------|------------------------------------------|
| B10         | 10% de biodiesel de soja e 90% de diesel |
| B25         | 25% de biodiesel de soja e 75% de diesel |
| B50         | 50% de biodiesel de soja e 50% de diesel |
| B75         | 75% de biodiesel de soja e 25% de diesel |
| B100        | 100% de biodiesel de soja                |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

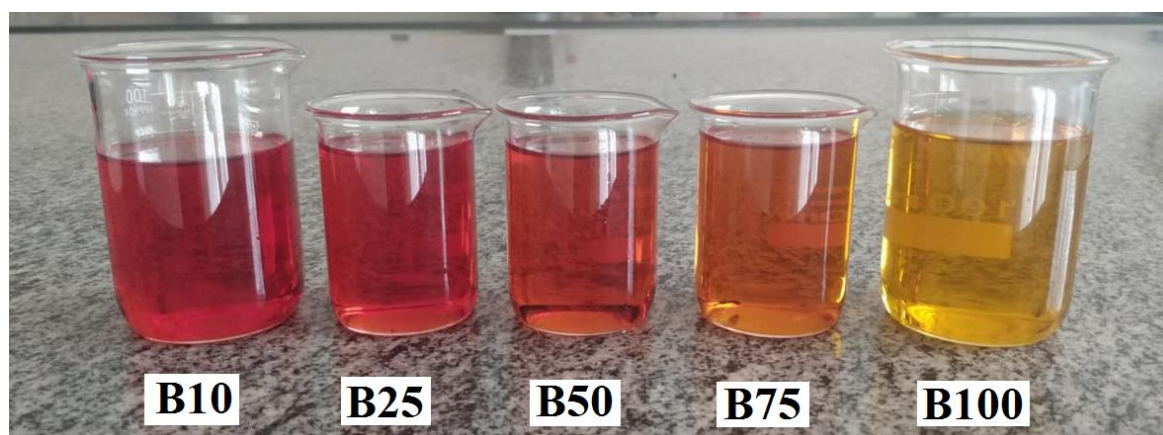


FIGURA 8. Diferentes concentrações de biodiesel no diesel automotivo tipo B utilizadas no ensaio do motor de ciclo diesel do trator.

Fonte: Autor, 2020.

### 3.3.2 Rotações do Motor

Ensaio preliminares foram realizados para a determinação das rotações específicas a serem utilizados nos ensaios dinamométricos, dentro da faixa de utilização do motor, obtidas em função da carga aplicada pelo dinamômetro por meio da TDP e lidas no painel digital apresenta neste equipamento. Assim, as sete rotações selecionadas foram: 1200, 1360, 1600, 1840, 2090, 2330, 2490 rpm. Dentre os pontos selecionados, tem-se as rotações que proporcionam máximo torque (1360 rpm) e máxima potência (2330 rpm), outros três pontos intermediários e equidistantes a estas rotações (1600, 1840 e 2090rpm) e mais dois pontos extremos ( 1200 e 2490 rpm), com o objetivo de evidenciar os pontos máximos de torque e potência nos gráficos.

### 3.4 ENSAIO DE DESEMPENHO

Antes da realização dos ensaios o trator passou por uma revisão em que foi realizada a troca do óleo do motor e filtros (filtro de ar do motor - primário e secundário, filtro do óleo do motor, filtro sistema hidráulico, filtro de combustível), bem como a limpeza de todo o sistema de alimentação, eliminando qualquer resíduo ou possível obstrução que pudesse vim a interferir no funcionamento da máquina.

Os ensaios foram conduzidos conforme a norma da OECD – código 2 (OECD, 2018).

O dinamômetro foi acoplado a tomada de potência do trator, conforme instruções do fabricante (AW, 2018), assim como os demais instrumentos necessários durante a condução dos ensaios e coleta de dados, todos devidamente calibrados (Figura 9).

Com o trator em funcionamento aguardou-se a estabilidade da temperatura normal de funcionamento e, logo após a aceleração do motor fora elevada até a posição da alavanca referente a plena carga, atingindo a rotação máxima.

Por meio da frenagem imposta pelo dinamômetro, a aplicação de carga ao motor foi iniciada até este atingir a rotação desejada. Quando esta rotação era alcançada, aguardou-se o tempo de estabilização das variáveis torque, potência e consumo de combustível (vazão). Vale ressaltar que o sistema funcionou sob regime permanente durante a coleta dos dados de desempenho. O procedimento foi repetido da mesma maneira para as demais rotações.

Dados climáticos de temperatura ambiente, umidade relativa, pressão atmosférica foram monitorados durante a realização dos ensaios, respeitando-se os limites estabelecidos pela norma (OECD, 2018). O equipamento utilizado foi um termo higrômetro digital da marca Instrutherm modelo HT 600, capaz de medir dados de umidade relativa do ar e temperatura ambiente, com precisão de 5% RH e 1°C.



FIGURA 9. Conjunto trator/dinamômetro para o ensaio do motor de ciclo diesel.  
Fonte: Autor, 2019.

### 3.5 VARIÁVEIS

Para análise do desempenho do trator foram determinadas as seguintes variáveis: torque, potência, consumo horário e específico de combustível e temperatura dos gases de escape.

#### 3.5.1 Torque e Potência

Os dados de rotação, torque e potência foram obtidos a partir da TDP do trator e posteriormente convertidos para dados do motor, utilizando para isto a relação de transmissão entre motor e TDP e também considerando as perdas causadas por este sistema.

##### 3.5.1.1 Torque

Os valores de torque, para as respectivas rotações, foram determinados utilizando o dinamômetro hidráulico da marca AW modelo NEB 800 ao decorrer da realização dos ensaios. O equipamento possui software próprio para aquisição dos dados.

#### 5.5.1.2 Potência

A potência, em cavalos, foi calculada a partir do produto do torque pela rotação, por meio da Equação 1.

$$P = T \times N \times \frac{2\pi}{60 \times 75} \quad (1)$$

Em que:

P – Potência (cv);

T – Torque (m kgf); e

N – Rotação (rpm).

Os valores de torque e potência equivalentes para o motor foram então calculados levando-se em consideração um aumento de 13%, conforme as normas da ASAE EP496.2 (2003), para compensar as perdas na transmissão.

### 3.5.2 Consumo de combustível

Para avaliar o consumo das diferentes misturas de combustíveis, utilizou-se um fluxômetro volumétrico, marca Oval Corporation, modelo FLOWMATE OVAL M-III LSF41 (Figura 10), instalado antes da bomba injetora do motor do trator. O princípio de funcionamento desse equipamento consiste em contabilizar o volume de combustível por unidade de tempo. O equipamento funciona por meio de duas engrenagens ovais que ao completarem uma volta desloca 1 mL de combustível, gerando então um sinal (pulso elétrico), que é posteriormente transformado em valores de consumo.

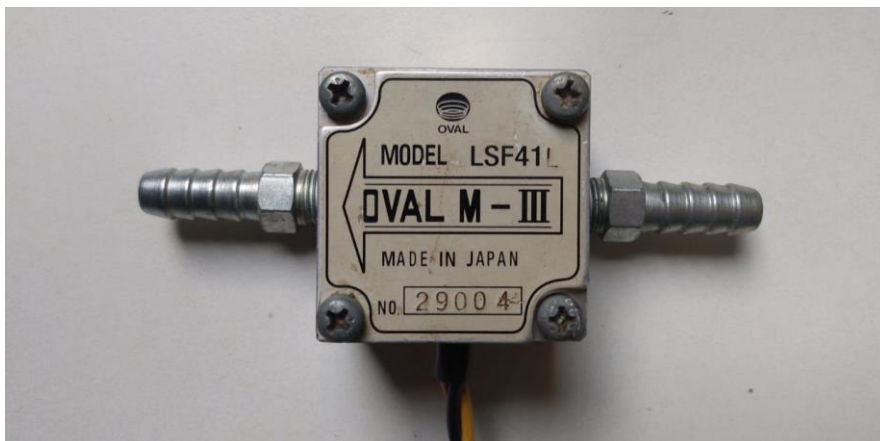


FIGURA 10. Medidor de combustível tipo fluxômetro volumétrico, marca Oval Corporation, modelo M-III LSF41.

Fonte: Autor, 2019.

Para utilizar o medidor de combustível tipo fluxômetro volumétrico foi necessário alterar o circuito original de combustível do trator. O retorno de combustível, advindo da bomba injetora e bicos, foi redirecionado do tanque de combustível para uma ligação logo após o fluxômetro. Assim, todo o combustível que retorna é forçado a ser consumido pelo motor, não passando novamente pelo medidor. Foi utilizado um recipiente de cinco litros como tanque de combustível, o isolamento dos filtros de combustível e o uso de registros auxiliares possibilitou a troca mais rápida e segura dos combustíveis, evitando contaminação e gasto desnecessário das amostras. O esquema a seguir detalha as alterações no circuito de alimentação do motor e o fluxômetro (Figura 11).

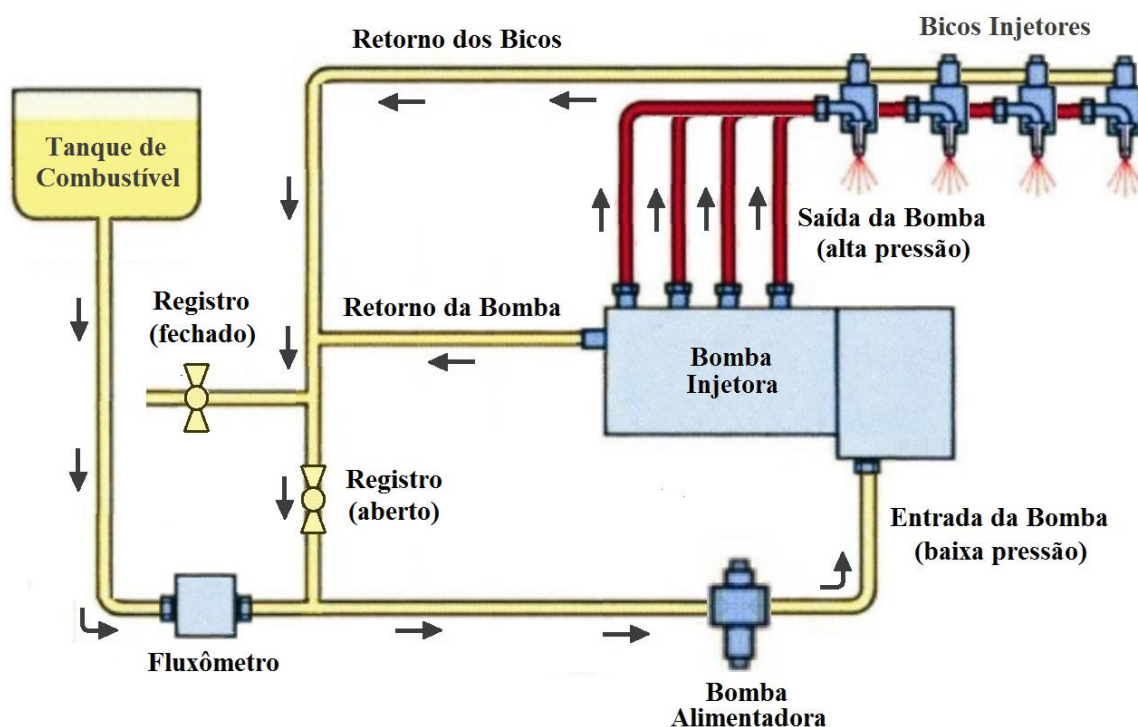


FIGURA 11. Esquema do circuito de alimentação e determinação do consumo de combustível do motor do trator utilizado no ensaio.

Fonte: Adaptado de Varela, 2012.

Durante a realização dos ensaios e tendo em vista a necessidade de mudança de combustível, em virtude dos sorteios e atentando-se aos critérios estatísticos, o sistema de alimentação foi reabastecido com a nova mistura até que o circuito eliminasse todo o combustível anteriormente presente nas mangueiras. Nesse processo foram utilizados 800 mL da nova mistura (CUNHA, 2011). Após a adaptação do sistema de alimentação do motor e eliminação das interferências dos ensaios anteriores retornou-se à realização dos novos ensaios e coleta de dados.

### 3.5.2.1 Consumo horário

Para a determinação do consumo horário foi contabilizado o volume de combustível por unidade de tempo para cada rotação, Equação 2.

$$Ch = \frac{N_p \times 3,6}{t} \quad (2)$$

Em que:

$Ch$  - Consumo horário ( $L h^{-1}$ );

$Np$  - Número de pulsos do medidor de combustível (mL); e

$t$  - Tempo (s).

### 3.5.2.2 Consumo específico

O Consumo específico foi obtido pela razão entre o consumo horário e a potência desenvolvida pelo motor (MIALHE, 1996). Para isso foi feito a conversão do consumo horário, expresso em  $L h^{-1}$ , para  $g h^{-1}$ , utilizando o valor da massa específica do combustível e, posteriormente, sua divisão pela potência do motor, Equação 3:

$$C_e = \frac{Ch \times \rho}{P_m} \quad (3)$$

Em que:

$C_e$  – Consumo específico ( $g (kWh)^{-1}$ );

$Ch$  – Consumo horário ( $L h^{-1}$ );

$\rho$  – Massa específica ( $g L^{-1}$ );

$P_m$  – Potência do motor (kW).

### 3.5.3 Temperatura dos gases emitido pelo motor

Para a determinação da temperatura dos gases emitidos pelo motor durante o ensaio foi utilizado um monitor ambiental de combustão e de emissão de gases da marca Kane, modelo 940, portátil, acoplado ao sistema de exaustão do trator (figura 12). O equipamento possibilitou a coleta de dados da temperatura dos gases de exaustão durante o ensaio (REIS et al., 2013).



FIGURA 12. Monitor ambiental de combustão e emissão de gases utilizado no ensaio para determinar a temperatura de emissão dos gases de exaustão.

Fonte: Autor, 2019.

### 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância aplicando-se teste F a 5% de probabilidade, após verificados os pressupostos básicos para análise de variância. Por se tratarem de dados quantitativos, os mesmos foram avaliados por meio de análise de regressão. Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o programa computacional SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014) e na confecção dos gráficos e superfícies de resposta os softwares Excel e STATISTICA 10 (STATSOFT, 2011).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme análise de variância para as variáveis torque, potência, consumo horário, consumo específico e temperatura dos gases de exaustão, nota-se que as variáveis analisadas sofreram influência significativa conforme foram alterados os percentuais de biodiesel no diesel e as velocidades de rotação do motor (Tabela 2).

TABELA 2 - Resumo da Análise de Variância para o torque (TOR), potência (POT), consumo horário de combustível (CH), consumo específico de combustível (CE) e temperatura dos gases (TG)

| Causas de Variação | G.L. | Quadrado Médio |             |          |              |              |
|--------------------|------|----------------|-------------|----------|--------------|--------------|
|                    |      | TOR            | POT         | CH       | CE           | TG           |
| Combustível ( C )  | 4    | 736,84 **      | 67,01 **    | 6,45 **  | 10.904,80 ** | 5.941,63 **  |
| Resíduo 1          | 10   | 20,55          | 1,97        | 0,39     | 173,35       | 444,04       |
| Rotações ( R )     | 6    | 40.669,03 **   | 2.325,67 ** | 50,38 ** | 11.352,78 ** | 97.352,95 ** |
| C * R              | 24   | 165,74 **      | 21,99 **    | 0,36 *   | 424,32 **    | 856,44 **    |
| Resíduo 2          | 60   | 21,69          | 2,54        | 0,18     | 81,26        | 140,39       |
| Total              | 104  | -              | -           | -        | -            | -            |
| Médias             | -    | 248,52         | 62,76       | 13,20    | 249,51       | 399,17       |
| CV 1 (%)           | -    | 1,82           | 2,24        | 4,71     | 5,28         | 5,28         |
| CV 2 (%)           | -    | 1,87           | 2,54        | 3,22     | 3,61         | 2,97         |

G.L. Graus de Liberdade; C.V.: Coeficiente de variação; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F; \*\*Significativo a 1% pelo teste de F.

As interações entre as diferentes concentrações de biodiesel no diesel e as velocidades de rotação do motor apresentaram efeito significativo. Por se tratar de fatores quantitativos, os dados foram avaliados por meio de regressões e gráficos de superfícies de resposta, sendo também realizado o teste de médias para melhor visualização dos resultados.

##### 4.1 TORQUE E POTÊNCIA

Na figura 13 é apresentada, para cada concentração de biodiesel no diesel, a curva com as médias de torque em função das diferentes faixas de rotação do motor. Há uma tendência das misturas contendo maior teor de biodiesel em proporcionar resultados inferiores de torque. Os valores máximo foram alcançados na rotação de 1360 rpm, sendo 288,26 N.m o maior resultado obtido com a mistura B10, seguido por B75 com 284,91 N.m, B50 com 284,84 N.m, B25 com 283,14 N.m e, por último, apresentando resultado 3,24% inferior em relação a testemunha,

B100 com 278,91 N.m, Entretanto, as curvas das concentrações não apresentaram diferença significativa até a rotação de torque máximo, se distanciando com o aumento da rotação e deixando de ser consideradas equivalentes a partir de 1600rpm, ponto em que os combustíveis B10 se torna distinto do B100 a 5% de significância (Tabela 3).

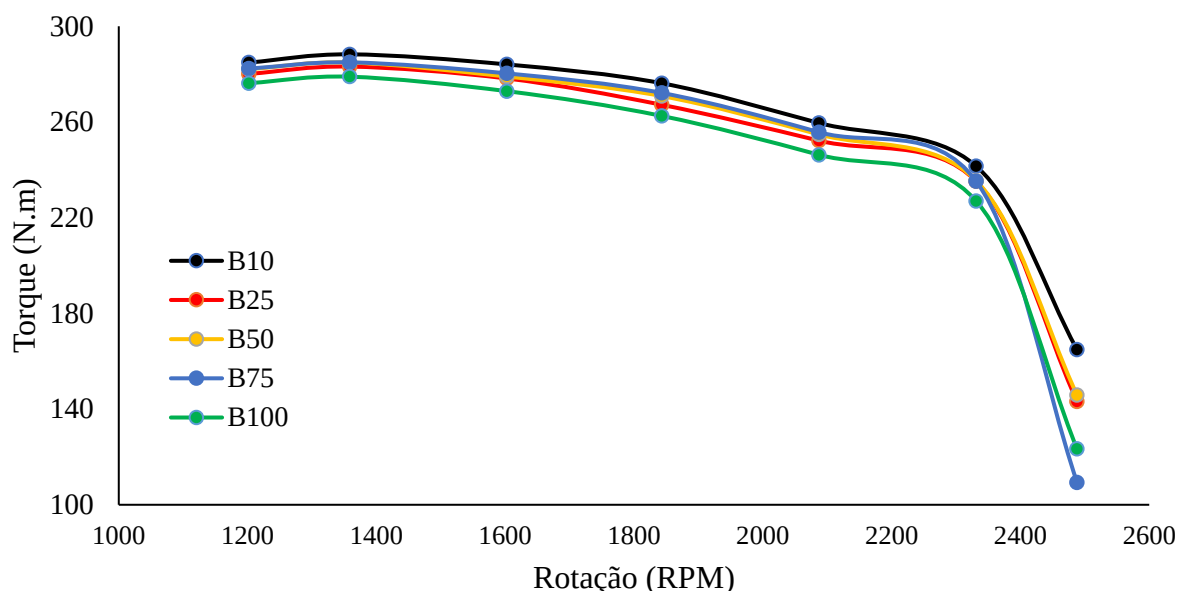


FIGURA 13. Médias de torque em função das diferentes rotações do motor.

TABELA 3 - Valores médios de torque (N.m.) em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados no diesel e das diferentes rotações do motor

| Rotações<br>(rpm) | Concentração (%) |     |        |      |        |      |        |      |        |     |        |   |
|-------------------|------------------|-----|--------|------|--------|------|--------|------|--------|-----|--------|---|
|                   | B10              |     | B25    |      | B50    |      | B75    |      | B100   |     | Média  |   |
| 1200              | 284,83           | ABa | 280,10 | Aa   | 282,08 | ABa  | 282,29 | ABa  | 276,21 | Aa  | 281,10 | A |
| 1360              | 288,26           | Aa  | 283,14 | Aa   | 284,84 | Aa   | 284,91 | Aa   | 278,91 | Aa  | 284,02 | A |
| 1600              | 284,04           | ABa | 278,17 | ABab | 278,96 | ABab | 280,29 | ABab | 272,87 | ABb | 278,86 | A |
| 1840              | 276,18           | Ba  | 267,17 | Bab  | 270,81 | Bab  | 272,14 | Bab  | 262,52 | Bb  | 269,76 | B |
| 2090              | 259,56           | Ca  | 252,17 | Cab  | 254,77 | Cab  | 255,71 | Cab  | 246,26 | Cb  | 253,70 | C |
| 2330              | 241,53           | Da  | 235,22 | Dab  | 235,48 | Dab  | 235,24 | Dab  | 226,98 | Db  | 234,89 | D |
| 2490              | 164,86           | Ea  | 143,24 | Eb   | 145,89 | Eb   | 109,35 | Ed   | 123,35 | Ec  | 137,34 | E |
| Média             | 257,04           | a   | 248,46 | bc   | 250,41 | b    | 245,70 | c    | 241,01 | d   |        |   |

\*Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As curvas elaboradas com as médias de potência para cada concentração de biodiesel no diesel para as diferentes faixas de rotação do motor, são apresentadas na Figura 14. Assim como o torque, os resultados de potência não foram diferentes, sendo os maiores valores desta

grandeza obtidos com as misturas contendo um menor teor de biodiesel e diferença entre as concentrações obtidas nas maiores rotações (Tabela 4). Isto ocorre pelo fato da potência ser uma variável obtida em função do produto entre a rotação e o torque, como demonstrado pela Equação 1.

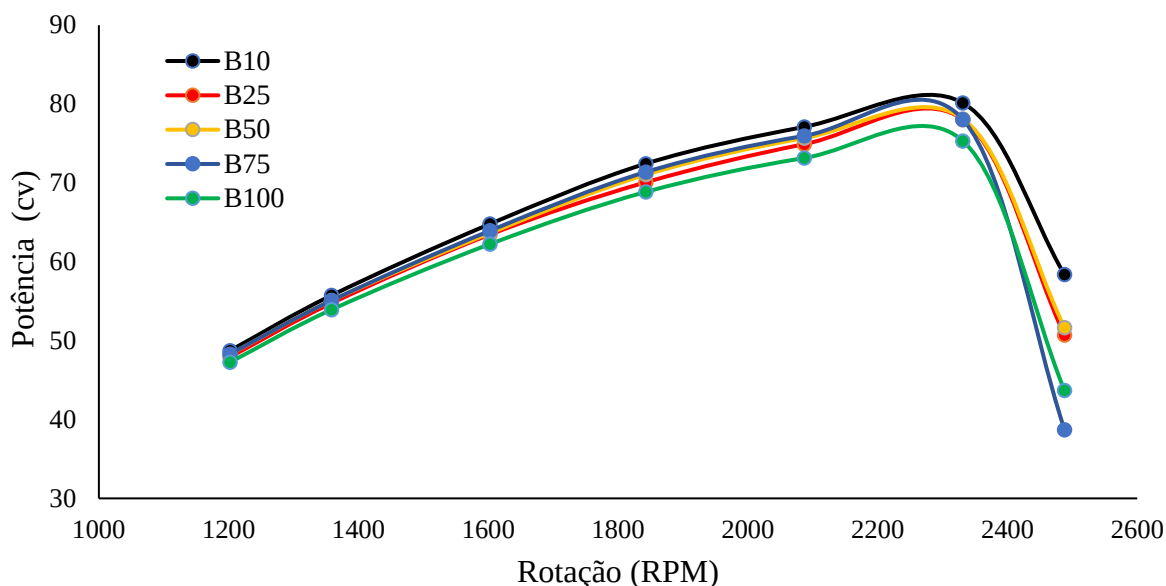


FIGURA 14. Médias de potência em função das diferentes rotações do motor.

TABELA 4 - Valores médios de Potência (cv) em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados no diesel e das diferentes rotações do motor

| Rotações<br>(rpm) | Concentração (%) |           |           |           |          | Média   |
|-------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|
|                   | B10              | B25       | B50       | B75       | B100     |         |
| 1200              | 48,73 Ea         | 47,92 Ea  | 48,26 Ea  | 48,30 Ea  | 47,26 Ea | 48,09 F |
| 1360              | 55,75 Da         | 54,75 Da  | 55,08 Da  | 55,10 Da  | 53,94 Da | 54,92 E |
| 1600              | 64,80 Ca         | 63,46 Ca  | 63,64 Ca  | 63,94 Ca  | 62,25 Ca | 63,61 D |
| 1840              | 72,45 Ba         | 70,09 Ba  | 71,04 Ba  | 71,39 Ba  | 68,87 Ba | 70,77 C |
| 2090              | 77,11 Aa         | 74,91 Aab | 75,69 Aab | 75,97 Aab | 73,16 Ab | 75,37 B |
| 2330              | 80,14 Aa         | 78,05 Aab | 78,13 Aab | 78,05 Aab | 75,31 Ab | 77,94 A |
| 2490              | 58,38 Da         | 50,72 Eb  | 51,66 DEb | 38,72 Fd  | 43,68 Ec | 48,63 F |
| Média             | 65,34 a          | 62,84 bc  | 63,36 b   | 61,64 cd  | 60,64 d  |         |

\*Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de potência apresentaram diferença significativa apenas em rotações mais elevadas, a partir de 2090 rpm. Dentro da faixa de utilização do motor, os valores máximos e a maior diferença entre as concentrações foram obtidos em 2330 rpm. Nesta rotação, a maior potência foi de 80,14cv para o B10, diferentemente do biodiesel puro (B100) que apresentou o

pior valor de 75,31cv, resultando em uma redução de 6,02%. Já as concentrações B25, B50 e B75 apresentaram valores intermediários e diferença não significativa para todas as rotações.

Resultados semelhantes foram encontrados por Nietiedt et al. (2011), que estudando o desempenho de motor de injeção direta sob misturas de biodiesel metílico de soja notaram que a concentração B100 apresentou potência 2,97% inferior em relação a B10. Kaplan et al. (2006) ao avaliar o desempenho de motor diesel com biodiesel de óleo de girassol relataram que o uso de B100 apresentou uma redução da potência entre 5% e 10% com a variação da carga em comparação ao óleo diesel. Já Azad et al. (2018) estudando o desempenho e emissões do motor com misturas de biodiesel de soja e diesel fóssil obteve potência máxima de 26,90kw para a mistura B5, 15,3% inferior em relação a B50 que foi de 22,78kw.

A influência do biodiesel no desempenho do motor depende da relação entre o sistema de injeção de combustível e das propriedades do combustível (natureza da oxigenação, volatilidade, viscosidade, poder calorífico), estes efeitos têm uma grande influência na formação de spray e combustão da mistura (BOSCH, 2005; RASLAVICIUS e BAZARAS, 2010; OZENER et al., 2014; COSTA, 2017).

Estudos realizados para avaliar o desempenho dos motores, utilizando biodiesel e suas misturas com diesel, têm apontado como uma das principais desvantagens relacionada as propriedades físico químicas do biodiesel o seu baixo poder calorífico. Assim, o uso de biodiesel puro ou de misturas contendo um alto teor deste biocombustível causam uma redução no desempenho do motor, gerando menos torque, potência e um maior consumo de combustível devido menor quantidade de energia por unidade de massa contida neste biocombustível (TZIOURTZIOUMIS et al., 2012; TINPRABATH et al., 2015; MADIWALE et al., 2018)

Castellanelli et al. (2008) ao avaliarem o desempenho de um motor de ignição por compressão funcionando com diferentes misturas de biodiesel de soja (B2, B5, B10, B20, B50, B75 e B100) verificaram que as misturas B2, B5 e B10 resultaram em desempenho semelhante ao do óleo diesel mineral (B0). Porém, utilizado 100 % de biodiesel, notaram que o motor apresentou desempenho inferior nos quesitos potência, torque e consumo específico em relação a testemunha B0. Os autores também justificam o distanciamento entre as curvas em certas faixas de rotação ocorrer devido a atomização ineficiente do combustível, prejudicando sua combustão. O mesmo fenômeno foi notado neste trabalho, principalmente nas maiores rotações, sendo a maior viscosidade e densidade do biodiesel a possível justificativa, acarretando mudança no padrão de pulverização devido a formação de gotículas maiores, dificultando a mistura do ar com o combustível, resultando em uma combustão pobre, perda de potência e desperdício de combustível.

## 4.2 CONSUMO HORÁRIO

De maneira geral, a elevação do consumo horário ocorreu em função da ação conjunta da elevação das rotações e do aumento da concentração de biodiesel no combustível, conforme Figura 15.

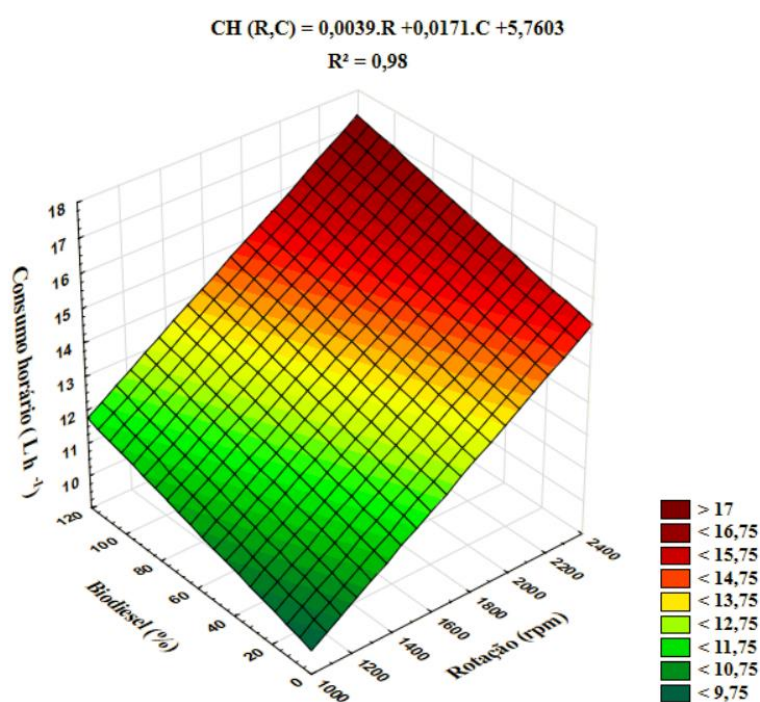


FIGURA 15. Superfície de resposta representando o efeito das diferentes concentrações de biodiesel misturado ao diesel e das rotações no consumo horário de combustível.

Os baixos valores de consumo horário foram verificados nas menores rotações e misturas contendo um menor teor de biodiesel, aumentando com a elevação destes dois fatores.

A partir da Figura 16, pode-se observar que o combustível B10 apresentou o menor consumo horário (L/h), em todas as faixas de rotação, em relação aos tratamentos B25, B50, B75 e B100. Esses tratamentos apresentaram um aumento em média no consumo de 4,84%, 7,30%, 10,31% e 13,16%, em relação ao B10, respectivamente. Dados semelhantes foram encontrados por Fiorese (2011) ao avaliar o desempenho de um motor de um trator agrícola de 53 kW (72cv) acoplado a um dinamômetro por meio da TPD, operando com misturas binárias de óleo diesel comercial (B5) e biodiesel de frango, no qual foram obtidos valores de consumo horário variando de 9L h<sup>-1</sup> (1200 rpm) até 14L h<sup>-1</sup> (2000 rpm).

Já Souza et al. (2016) ao avaliar o desempenho de motores ciclo diesel, 6 cilindros e potência de 110 cv, abastecidos com misturas de 5% (B5); 10% (B10); 20% (B20); 40% (B40), 60% (B60) de biodiesel adicionado ao diesel marítimo e o biodiesel puro (B100), encontrou valores de consumo horário variando de 10 a 23 kg/L para as rotações de 1200 até 2500 rpm. Os autores justificam o aumento do consumo ocorrer também devido a maior viscosidade do biodiesel e suas misturas, causando menor perda de combustível pelas lacunas existentes no sistema de injeção (folga entre componentes internos da bomba injetora), potencializando este componente e fazendo com que uma maior quantidade de combustível entre na câmara de combustão.

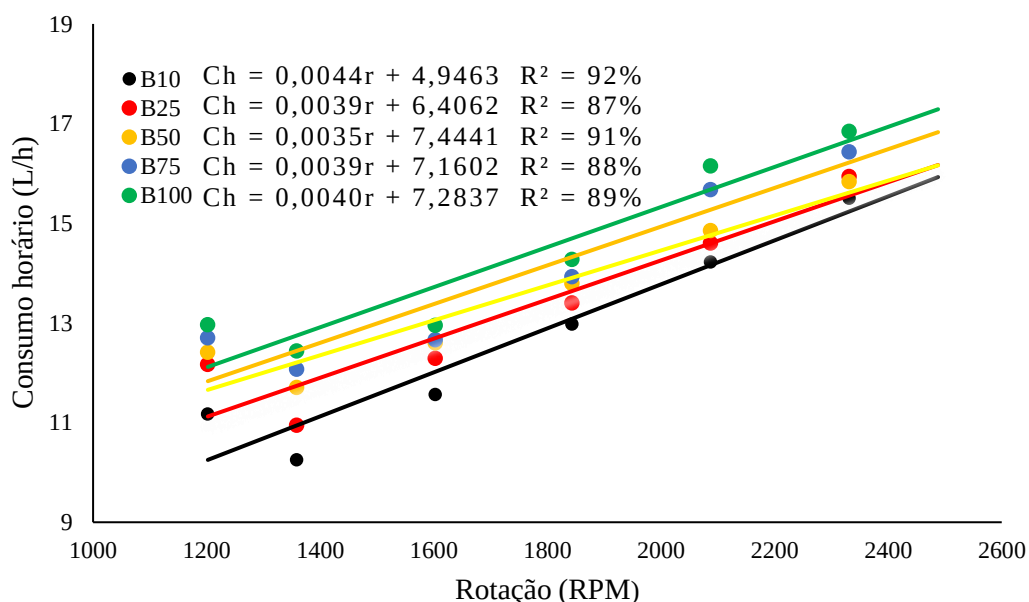


FIGURA 16. Consumo horário de combustível em função das diferentes rotações do motor.

O aumento da rotação, dentro da faixa de utilização do motor (1360 até 2330 rpm), representou uma elevação nos consumos horários de combustível de 51% para o B10 até valores de 31% para o B100. Resultados semelhantes foram encontrados por Ramos e colaboradores (2016) ao avaliarem o rendimento operacional e o consumo de combustível de uma colhedora em diferentes operações verificaram que o consumo horário de combustível aumenta de forma expressiva quando o motor opera em altas rotações, obtendo aumento médio de 45% de consumo de combustível, fazendo com que eleve o custo operacional da máquina.

Silva et al. (2013) relembra que, na maioria das vezes, os operadores de máquinas utilizam aceleração e marchas inadequadas, preocupando-se pouco com o consumo de

combustível e com a real demanda de força da operação. Sendo assim possível reduzir o consumo de combustível utilizando apenas a potência necessária para dada operação.

### 4.3 CONSUMO ESPECÍFICO

Os resultados de consumo específico de combustível para as diferentes rotações do motor e concentrações de biodiesel no diesel, estão apresentados na Figura 17. Nota-se que o aumento no percentual de biodiesel elevou o consumo específico de combustível.

Como observado, para todos os combustíveis, o menor consumo específico foi obtido na faixa de rotação de 1800 a 2000 rpm, intervalo que apresentaria os melhores desempenhos devido ao menor volume de combustível demandado por kW por h. Nessa faixa de rotação, os valores de consumo específico de combustível aumentaram em média, 7,75%; 10,73% e 12,45%, respectivamente, com o uso dos combustíveis B25, B50 e B75 em relação a testemunha (B10). A concentração B100 apresentou resultado superior aos demais tratamentos, com um consumo específico médio 20,9% maior em relação a concentração B10.

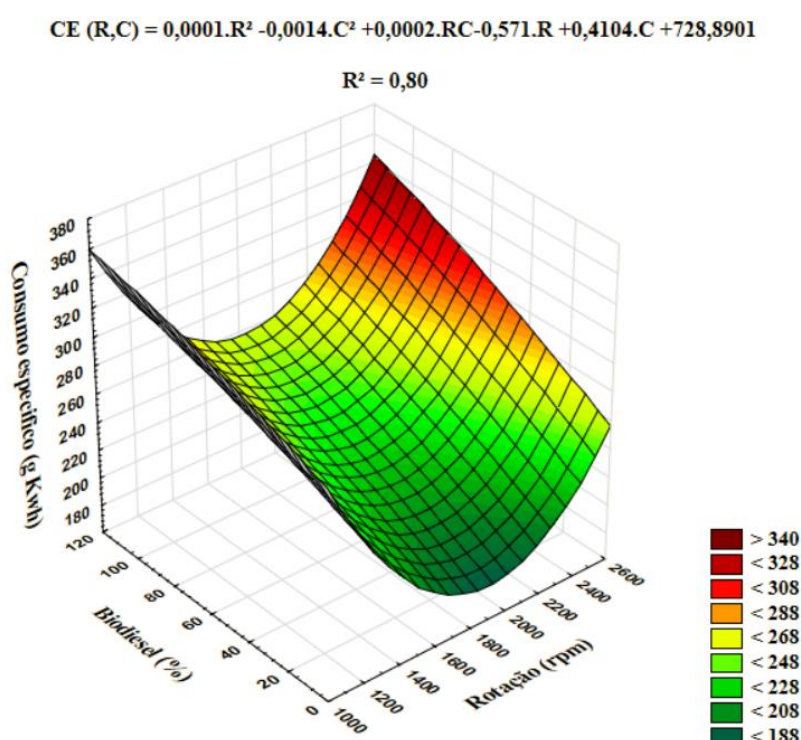


FIGURA 17. Superfície de resposta representando o efeito das diferentes concentrações de biodiesel misturado ao diesel e das rotações no consumo específico de combustível.

Podorodeczki (2016), ao avaliar o desempenho de motor diesel com injeção eletrônica *common rail* alimentado com misturas de diesel e biodiesel em dinamômetro de chassi, obteve

valores de consumo específico próximos aos encontrados neste trabalho, com diferença de consumo entre biodiesel B7 e B100 variando 21,2% para a rotação de 2000 rpm.

Resultados semelhantes também foram obtidos também por Nietiedt et al. (2011) ao avaliarem o desempenho de um motor de injeção direta sob misturas de biodiesel metílico de soja, em que os combustíveis proporcionam alterações no desempenho do motor, sendo que o combustível B10 apresentou os melhores resultados de potência e consumo específico. Já o combustível B100 mostrou os menores valores de potência e os maiores valores de consumo específico, todos em relação ao combustível contendo menor teor de biodiesel (B5).

Estudos utilizando misturas binárias de diesel e biodiesel demonstraram que houve um aumento do consumo de combustível à medida que as frações de biodiesel na mistura aumentam, resultados semelhantes aos encontrados nesse trabalho. A explicação desses comportamentos pode ser devido ao fato de o biodiesel ter um menor valor de poder calorífico, maior densidade e viscosidade, que o combustível diesel puro (ILERI e KOCAR, 2014).

Como já relatado pelas literaturas citadas e também observado neste trabalho, de modo geral, não há perdas tão expressivas no desempenho do motor com relação a potência e torque como notado pelo consumo de combustível. O baixo poder calorífico aparece em destaque como justificativa para o aumento no consumo de biodiesel puro ou de misturas contendo um alto teor deste biocombustível quando se deseja produzir a mesma quantidade de energia. Porém, Kaplan et al. (2006) e Serrano et al. (2012) afirmam que existem outros fatores que contribuem para a produção de mesma potência com menores quantidades de energia disponível, não sendo apenas esta propriedade a responsável pela eficiência energética na combustão. Assim, mais estudos são necessários visando uma melhor compreensão destes outros fatores.

#### 4.5 TEMPERATURA DOS GASES DE EXAUSTÃO

A Figura 20 apresenta o gráfico de superfície de resposta da temperatura dos gases de exaustão em função dos diferentes teores de biodiesel adicionado ao diesel e rotações do motor.

Pode-se observar, tabela 2, que a interação entre as rotações e as concentrações de biodiesel no diesel influenciaram significativamente a variação da temperatura dos gases de exaustão do motor. De acordo com a inclinação da superfície (Figura 18) é possível notar um efeito maior das rotações do motor em relação ao aumento da concentração do biodiesel na elevação da temperatura dos gases de exaustão do motor. Tem-se assim, para as faixas de

rotação variando de 1200 a 2330 rpm, um incremento médio na temperatura dos gases de exaustão próximo à 81% para todas as concentrações em estudo.

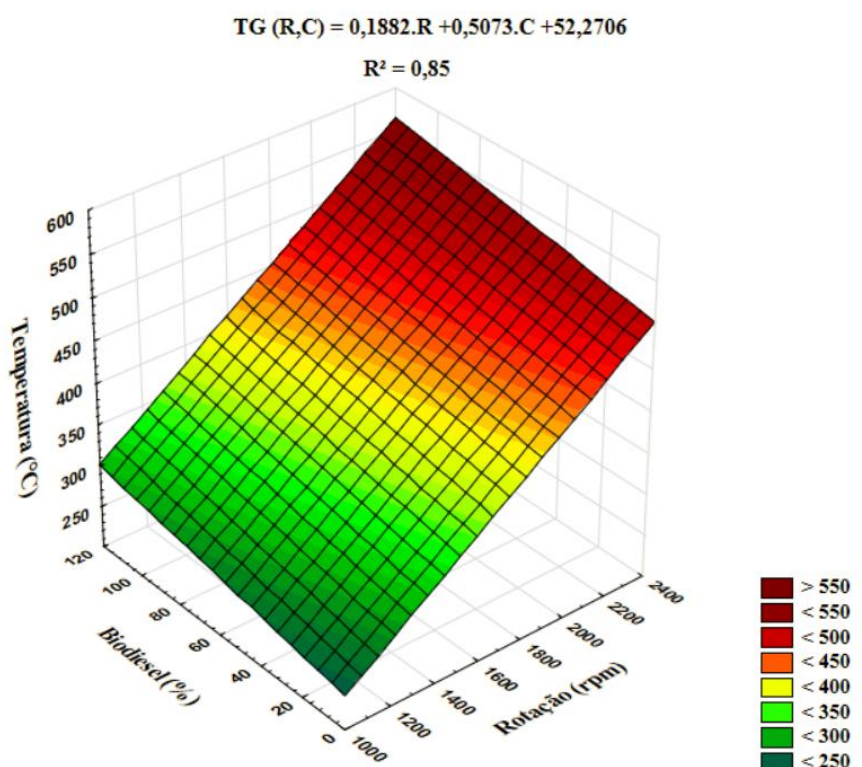


FIGURA 18. Superfície de resposta representando o efeito das diferentes concentrações de biodiesel misturado ao diesel e das rotações na temperatura dos gases de exaustão do motor.

Com relação aos combustíveis utilizados, nota-se que, independente da rotação, as temperaturas tendem a se elevar gradativamente à medida que se aumenta o teor de biodiesel na mistura (Figura 6). As maiores variações de temperatura foram observadas nas menores rotações do motor (1200 rpm), cujo o valor de temperatura teve um aumento de 29% com o motor abastecido com B100 em comparação a mistura B10. Esta variação tende a diminuir à medida que se eleva a rotação, reduzindo a diferença de 5,9% para rotações próximas de 2330 rpm para as mesmas concentrações.

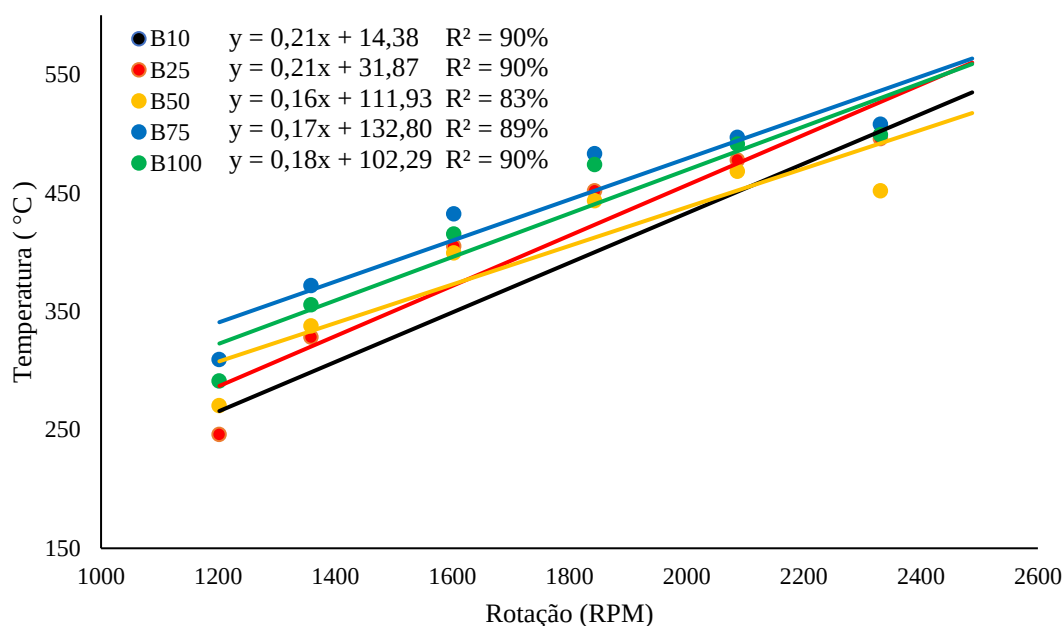


FIGURA 19. Temperatura dos gases de exaustão em função das diferentes rotações do motor.

Uma possível justificativa para os maiores valores de temperatura é a maior viscosidade e a menor volatilidade do biodiesel, prejudicando os processos de pulverização do combustível, atomização e formação de mistura, o que resulta em queima mais lenta e maior duração do processo de combustão (RASLAVICIUS e BAZARAS, 2010).

Outro fator atenuante seria o maior índice de cetanos presente no biodiesel, esta propriedade está diretamente relacionada com a velocidade de ignição, fazendo com que aconteça um adiantamento da combustão e maior tempo de exposição da mistura à chama em comparação com o diesel fóssil, como relatado por Costa (2017). Resultados semelhantes foram encontrados por este mesmo autor ao avaliar a emissão dos gases poluentes de um motor de combustão interna ciclo diesel operando com diesel, biodiesel e suas misturas, em que observou que as maiores temperaturas dos gases de escape do motor foram obtidos nos tratamentos utilizando maiores rotações e biodiesel puro como combustível. Mazieiro et al. (2006) e Cunha et al. (2015) também apontam a facilidade na liberação de calor a partir do adiantamento químico da combustão do biodiesel como uma das causas para valores maiores de temperatura na câmara de combustão e, conseqüentemente, dos gases de exaustão.

O maior índice de cetanos presente no biodiesel é dos motivos que também leva à perda de potência do motor. Por estar relacionado com a pré-ignição, o combustível é detonado antes do momento correto (bem antes do pistão atingir o PMS dentro do cilindro), este adiantamento químico da combustão promove maior temperatura no interior da câmara de

combustão, originando regiões mais aquecidas no interior do cilindro, desencadeando uma combustão antes do momento programado, implicando em perda de potência do motor (Figura 14).

Outros estudos indicam a maior quantidade de oxigênio presente no biodiesel como outra justificativa para elevação da temperatura, ao proporcionar uma combustão mais eficiente e completa pelo aumento deste elemento na mistura (CANAKCI, 2007; YASINET al., 2017; RAMAN et al., 2019).

Os valores de  $r^2$  demonstraram uma boa correlação entre os dados de rotação e concentração de mistura com a temperatura dos gases, podendo ser esta uma forma simples, eficaz e viável economicamente para se determinar de forma indireta o desempenho do motor, além de ser um parâmetro de fácil coleta, por envolver sensores de simples instalação ou adaptação e uso nas mais adversas condições de trabalho.

## 5. CONCLUSÕES

Os combustíveis proporcionam alterações no desempenho do motor, sendo o combustível B10 e o B100 os que apresentam, respectivamente, os melhores e piores resultados;

Em relação diesel comercial (B10), as concentrações intermediárias (B25, B50 e B75) não proporcionaram perdas significativa do torque e da potência, diferença evidenciada apenas com o uso de biodiesel puro (B100);

Diferenças significativa entre as concentrações, para as variáveis torque e potência, foram obtidas em rotações mais elevadas;

O aumento da rotação e concentração de biodiesel na mistura proporcionaram elevação no consumo horário, consumo específico e temperatura dos gases de exaustão;

A temperatura dos gases de exaustão pode ser utilizada como parâmetro de avaliação de desempenho;

O aumento no consumo de combustível resultou do uso de misturas com elevado teor de biodiesel, demonstrando ser este o principal fator que apresentou resultados negativos de desempenho;

Concentrações contendo até 50% de biodiesel em sua composição (B50) podem substituir o óleo diesel comercial (B10), sem perdas significativas do desempenho do motor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDIN, M. J.; IMRAN, A.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; SHAHIR, S. A.; VARMAN, M.; RUHUL, A. M. An overview on comparative engine performance and emission characteristics of different techniques involved in diesel engine as dualfuel engine operation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 306-316, 2016.

AGARWAL, A. K.; GUPTA, J. G.; DHAR, A. Potential and challenges for large-scale application of biodiesel in automotive sector. **Progress in Energy and Combustion Science**, v.61, n.1, p.113- 149, 2017.

AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Dados estatísticos: Produção de Biocombustível - Produção de biodiesel**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>>. Acesso em: 02 fev, 2020.

AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Institucional: áreas de atuação**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/institucional>>. Acesso em: 17 dez, 2019.

AGUIAR, M. A. **Avaliação das curvas de desempenho em bancada dinamométrica de um motor ciclo diesel, turbocompressor, utilizando diesel e biodiesel (B-20), (B-50), (B-100) e analisar as emissões dos gases**. 2016. 161f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia), Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2016.

ALBUQUERQUE, L. E. N. **Automatização de um dinamômetro hidráulico para ensaios de motores de combustão interna**. 87f. 2015. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos), Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

ALVES, B. G. X.; REIS, E. F. Conjunto para avaliação dinâmica do desempenho de tratores agrícolas. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.26, n.2, p.110-123, 2018.

ALVES, J. V. **Análise da influência de coletores de admissão com geometria variável nos parâmetros de desempenho em motores de combustão interna de ignição por faísca e HCCI usando AVL-BOOST**. 84f. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Automotiva), Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

ANDRADE, E. T.; CARVALHO, S. R. G.; SOUZA, L. F. Programa do Proálcool e o etanol no Brasil. **Engevista**, v.11, n.2, 2009.

ANJOS, E. V. **Produção de ésteres metílicos de óleo de soja utilizando líquidos iônicos**. 87p. 2018. Dissertação (Mestrado em Bioenergia), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Toledo, Centro em Bioenergia, Toledo-PR, 2018.

APOLINÁRIO, F. D. B., PEREIRA, G. D. F., & FERREIRA, J. P. Biodiesel e Alternativas para utilização da glicerina resultante do processo de produção de biodiesel. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v.2, n.1, p.141-146. 2012.

ARAÚJO, J. A. **Estudo AB Initio dos principais componentes do biocombustível proveniente do óleo de soja**. 2018. 29f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química), Centro de Formação de Professores, Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, Paraíba, Brasil, 2018.

ASAE. American Society of Agricultural Engineers. ASAE EP 496.2 FEB 03. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: **American Society of Agricultural Engineers**, 2003. p. 366-372.

AZAD, A. K.; RASUL, M. G.; GIANNANGELO, B.; AHMED, S. F. Diesel engine performance and emission study using soybean biodiesel blends with fossil diesel. In: **Exergy for A Better Environment and Improved Sustainability 2**. Springer, Cham, 2018. p.137-155.

BERNARDI, M. D. **Análise do desempenho e das emissões de um motor ciclo diesel operando com misturas etanol-óleo de mamona**. 90f. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caxias do Sul, 2019.

BHATNAGAR, A. Mitigating greenhouse effect in India through gradual shift to renewable energy. **Current Science**, v.111, n.11, p.1765-1772, 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. Resolução nº 45, de 25 de agosto de 2014. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2014/agosto&item=ranp-45-2014>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

BRUNETTI, F. Motores de combustão interna. **São Paulo: Blucher**, v. 1, 2012.

CASTELLANELLI, M.; SOUZA, S.N.M.; SILVA, S.L.; KAILER, E.K. Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinamométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.145-153, 2008.

CANAKCI, M. Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. **Bioresource technology**, v. 98, n. 6, p. 1167-1175, 2007.

CHECCHIO GROTTA, D.C.; LOPES, A.; ANGELI FURLANI, C.E.; PEREIRA DA SILVA, R.; NAVES DOS REIS, G.; CORTEZ, J.W. Biodiesel etílico filtrado de óleo residual de soja: desempenho de um trator agrícola na operação de gradagem. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.30, n.2, p.135-138, 2008.

CARRARO, A. R.; DA SILVA CÉSAR, A.; CONEJERO, M. A. Potencial para produção de biodiesel no Brasil. **AgroANALYSIS**, v. 38, n. 5, p. 21-22, 2019.

CLARA, M. P. **Bancos de ensaios e testes a motores de combustão interna**. Apostila. Instituto Politécnico de Bragança. 2007.

CORREA, D. F.; BEYER, H. L.; POSSINGHAM, H. P.; THOMAS-HALL, S. R.; SCHENK, P. M. Biodiversity impacts of bioenergy production: Microalgae vs. first generation biofuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 1131-1146, 2017.

CORTI, E.; ROJO, N.; ABBONDANZA, M.; RAGGINI, L. Application of a model for optimizing steady state and transient control of hydraulic dynamometers. **In: AIP Conference Proceedings**, v.2191, n.1, p.20052. AIP Publishing LLC, 2019.

COSTA, J. O. **Análise dos Gases da Exaustão em um Motor Diesel com Injeção Common Rail Alimentado com Diesel, Biodiesel e suas Misturas**. 2017. 108p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais), Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

COSTA, A. O. **A inserção do biodiesel na matriz energética nacional: aspectos socioeconômicos, ambientais e institucionais**. 2017. 248p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

COSTA, F. T.; SCHIEBELBEIN, L. M.; SANTOS, M. M. D.; STEVAN, S. L. Evolução de sensores em máquinas agrícolas. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA**, 10, 2015, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, SBIAgro. 2015.

COSTA, B. D. **Estudo de caso da melhoria da eficiência do sistema de pré-filtragem de ar para tratores de grande porte e alta potência**. 2015. 75p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba,

2015.

CROLLA, D. A. **Automotive Engineering Powertrain, Chassis System and Vehicle**. 1 ed, Burlington: Ed. Elsevier, 2009.

CUNHA, J. P. B.; REIS, E. F.; COUTO, R. F.; HOLTZ, V.; MACHADO, T. A.; LEONÍDIO, D. M. Efeito de diferentes concentrações de biodiesel nas emissões gasosas de um trator agrícola em operação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, p. 564-569, 2015.

CUNHA, J. P. **Efeito de diferentes concentrações de biodiesel no desempenho de um trator em operação de preparo do solo**. 62p. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2011.

DANTAS, J. Síntese, caracterização e performance catalítica de nanoferritas mistas submetidas a reação de transesterificação e esterificação via rota metílica e etílica para biodiesel. **Revista Matéria**, v.21, n.4, p.1080-1093, 2017.

DANTAS, J. V. C. C. **Transesterificação supercrítica de óleo de algodão em reator contínuo: uma possível alternativa na produção de biodiesel**. 2018. 36f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

EAGLIN, Jennifer. The Demise of the Brazilian Ethanol Program: Environmental and Economic Shocks, 1985–1990. **Environmental History**, v.24, n.1, p.104-129, 2019.

EIA- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **World Energy Balances 2019 Overview**. Disponível em: <[https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bd626f1-a403-4b14-964f-f8d0f61e0677/World\\_Energy\\_Balances\\_2019\\_Overview.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bd626f1-a403-4b14-964f-f8d0f61e0677/World_Energy_Balances_2019_Overview.pdf)>. Acesso em: 28 maio, 2020.

ESTEVES, R. A.; PEREIRA, R. G. Análise sobre a evolução do biodiesel no Brasil. **Revista Espacios**, Caracas, v.37, n.2, p.5, 2016.

FARIAS, M.S.D.; SCHLOSSER, J.F.; ESTRADA, J.S., FRANTZ, U.G.; RODRIGUES, F.A. Evaluation of new agricultural tractors engines by using a portable dynamometer. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.5, p.820-824, 2016.

FARIAS, M. S. **Avaliação de motores de tratores agrícolas utilizando dinamômetro móvel**. 2014. 162p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.

FERREIRA, D.F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2014.

FERNANDES, F. J. R. **Banco de ensaio de motores de combustão para o projeto UBicar**. 2017. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletromecânica), Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2017.

FILHO, A. G. S.; SANTOS, J. E. G. G. Apostila de Máquinas Agrícolas. **Unesp, Bauru-SP**, 2001.

FIORESE, D. A. **Desenvolvimento e validação de um sistema eletromecânico para determinação do torque nas rodas motrizes de tratores agrícolas**. 116f. 2014. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2014.

GENG, Peng et al. Effects of alternative fuels on the combustion characteristics and emission products from diesel engines: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 523-534, 2017.

GUARIEIRO, L. L.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v.3, n.5, p.434-445, 2011.

HEYWOOD, J. B. Internal combustion engines fundamentals. 2ª Ed. New York: **McGraw-Hill**, 1988.

HODGSON, P.G. **Theoretical Model and Dynamic Simulation of Variable Fill Hydraulic Dynamometers**. 1991. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), University of Canterbury, Christchurch, Nova Zelândia, 1991.

IACONO, G. E. P. **Desempenho do motor de um trator agrícola utilizando misturas diesel-biodiesel-etanol**. 98f. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

ILERI, E.; KOCAR, G. Experimental investigation of the effect of antioxidant additives on NOx emissions of a diesel engine using biodiesel. **Fuel**, 2014.

JEE, K. Y.; LEE, Y. T. Preparation and characterization of siloxane composite membranes for n-butanol concentration from ABE solution by pervaporation. **Journal of membrane science**, v.456, p.1-10, 2014.

JUNGER, A. P.; DIOTTO, R. D. Sustentabilidade e política pública para contaminantes no Brasil. *Research, Society and Development*, Itabira, v.7, n.6, p.1-18, 2018.

JÚNIOR, J. G. B. **Projeto de desenvolvimento de um dinamômetro hidráulico para testes de motores de combustão interna**. 60f, 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Coordenação de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2015.

KAPLAN, C.; ARSLAN, R.; SÜRMEN, A. Performance characteristics of sunflower methyl esters as biodiesel. **Energy Sources**, v. 28, n. 8, p. 751-755, 2006.

KILLEDAR, J. S. **Dynamometer: Theory and Application to Engine Testing**. 2012.

KÖPPEN, W. Versuch Einer Klassifikation Der Klimate, Vorzugsweise Nach Ihren Beziehungen Zur Pflanzenwelt. **Geographische Zeitschrift**, v. 6, n.11, 1900.

KUCEK, K.T. **Otimização da transesterificação etílica do óleo de soja em meio alcalino**. 106f. 2004. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas Curitiba, 2004.

LIMA, L. P.; OLIVEIRA, C. A. A.; PEREIRA, P. S.; SILVA, F. J. Opacidade da fumaça de um trator agrícola funcionando com três fontes de biodiesel como combustível. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB**, Jaboticabal (SP), v.7, n.1, p. 39-46, 2015.

LIU, X.; ZHANG, S.; BAE, J. The nexus of renewable energy-agriculture-environment in BRICS. **Applied energy**, v.204, p.489-496, 2017.

MA, F.; HANNA, M. A. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, v.70, n.1, p.1-15, 1999.

MADIWALE, S.; KARTHIKEYAN, A.; BHOJWANI, V. Properties investigation and performance analysis of a diesel engine fuelled with Jatropha, Soybean, Palm and Cottonseed biodiesel using Ethanol as an additive. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 1, p. 657-664, 2018.

MAHLE. Manual técnico: **curso Mahle metal leve motores de combustão interna**. Disponível em: <<https://www.mahle-aftermarket.com/files/local-media-latin-america/catalogs/manuais-tecnicos/2016-04-19-manual-curso-de-motores-2016.pdf>>. Acesso em: 12 ago, 2019.

MARTINS, J. Motores de combustão interna. 2 ed. **Porto: Publindústria.** v.1, 2006.

MAZIEIRO, J. V.; CORRÊA, I. M.; TRIELLI, M. A.; BERNARDI, J. A.; D'AGOSTINI, M. F. Avaliação de emissões poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de girassol como combustível. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 4, p. 287-292, 2006.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio e certificação**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996.

MIALHE, L. G. **Introdução ao estudo da avaliação do desempenho de máquinas agrícolas**. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Cadernos da disciplina LEB, 466), 1987.

MOFIJUR, M.; RASUL, M.G.; HYDE, J.; AZAD, A.K.; MAMAT, R.; BHUIYA, M.M. Role of biofuel and their binary (diesel–biodiesel) and ternary (ethanol–biodiesel–diesel) blends on internal combustion engines emission reduction. **Renewable Sustainable Energy Rev.** v.53, n.1, p.265–278, 2016.

MOMENNIA, A.; MOHAMMADEBRAHIM, A. The Effect of Cylinder Deactivation on the Performance Parameters of a Bi-fuel Engine. **The Journal of Engine Research.** v.57, n.1, p.41-49, 2020.

NARDI, A. C.; BRANDALISE, L. T. A percepção ambiental dos acadêmicos de uma instituição de ensino superior com relação ao suco “do bem tm”. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v.4, n.2, p.217-249, 2019.

NIETIEDT, G. H., SCHLOSSER, J. F., RIBAS, R. L., FRANTZ, U. G., & RUSSINI, A. Desempenho de motor de injeção direta sob misturas de biodiesel metílico de soja. **Ciência Rural**, v.41, n.7, p.1177-1182, 2011.

NITSCH, M. O programa de biocombustíveis Proálcool no contexto da estratégia energética brasileira. **Revista de economia política**, v. 11, n. 2, p. 42, 1991.

ÖZENER, O., YÜKSEK, L., ERGENÇ, A. T., & ÖZKAN, M. Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. **Fuel**, v. 115, p. 875-883, 2014.

PABÓN, Y. A. C.; OJEDA, F. W. B.; SANTAELLA, J. R. B.; ÁLVAREZ, C. E. C. Modelado y simulación del comportamiento de velocidad de un dinamómetro hidráulico. **Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (rcta)**, v.1, n.33, 2019.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Unigráfica, 2003. 66p.

PEÇA, J. **Motor diesel sua aplicação em equipamentos agrícolas**. 2018. Disponível em:< <http://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/24947> >. Acesso em: 18 set, 2019.

PERIN, G. F.; SCHLOSSER, J. F.; DE FARIAS, M. S.; ESTRADA, J. S.; TREICHEL, H.; GALON, L. Emissões de motor agrícola com o uso de diferentes tipos de diesel e concentrações de biodiesel na mistura combustível. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.50, n.12, p.1168-1176, 2015.

PINHO, D. M. M.; SUAREZ, P. A. Z. Do Óleo de Amendoim ao Biodiesel: Histórico e Política Brasileira para o Uso Energético de Óleos e Gorduras. **Revista Virtual Química**, v.9, n.1, 2017.

PODORODECZKI, P. R. **Análise de desempenho de motor diesel com injeção eletrônica Common Rail alimentado com misturas diesel-biodiesel em dinamômetro de chassis**. 2016. 88p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais), Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RAMAN, L. A.; DEEPANRAJ, B.; RAJAKUMAR, S.; SIVASUBRAMANIAN, V. Experimental investigation on performance, combustion and emission analysis of a direct injection diesel engine fuelled with rapeseed oil biodiesel. **Fuel**, v. 246, p. 69-74, 2019.

RAMOS, L. P.; KUCEK, K. T.; DOMINGOS, A. K.; WILHELM, H. M. Biodiesel: um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, DF, v.31, p.28-37, 2003.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; DE SOUZA SANTOS, R.; MARTINS, M. B.; SANDI, J. Eficiência e demanda energética de uma colhedora de cana-de-açúcar em talhões de diferentes comprimentos. **Energia na agricultura**, v. 31, n. 2, p. 121-128, 2016.

RASLAVICIUS, L.; BAZARAS, Z. Variations in oxygenated blend composition to meet energy and combustion characteristics very similar to the diesel fuel. **Fuel Process Technol**, 2010.

REIS, Â. V.; MACHADO, A. L. T.; TILLMANN, C. A. C.; MORAES, M. L. B. **Motores, tratores, combustíveis e lubrificantes**. 1.ed. Pelotas: Ed. UFPel, 1999.

REIS, E. F. DOS; CUNHA, J. P. B.; MATEUS, D. L. S.; DELMOND, J. G.; COUTO, R. F.

Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.5, p.565-571, 2013.

RIBAS, W. F.; BILOTTA, P.; JANISSEK, P. R.; CARVALHO FILHO, M. A. da S.; PENTEADO NETO, R. A. Influência do combustível (diesel e biodiesel) e das características da frota de veículos do transporte coletivo de Curitiba, Paraná, nas emissões de NOx. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.3, p.437-445, 2016.

RINALDI, P. C. N., FERNANDES, H. C., TEIXEIRA, M. M., & DE ALVARENGA, C. B. Nota técnica: diagnóstico da potência e torque dos tratores agrícolas fabricados e comercializados no Brasil. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.24, n.3, p.246-256, 2016.

RODRIGUES, A. S., ROCHA, A. C., DA COSTA, A. S. V., & LOPES, I. A. Prospects of raw materials for the production of biodiesel in brazil. **International Journal of Research-GRANTHAALAYAH**, v. 8, n. 4, p. 133-143, 2020.

RODRIGUES, G. O., LANGWINSKI, P. R., DA SILVA, G. C., RIZZETTI, D. M., & MOREIRA, C. Dinâmica de sistemas para avaliar o impacto ambiental dos quatro veículos mais comercializados, em 2018, no brasil. **REAVI-Revista Eletrônica do Alto Vale do Itajaí**, v.8, n.13, p.103-113, 2019.

RUSSINI, A. **Estimativa do desempenho de tratores agrícolas em campo e pista a partir do ensaio dinamométrico**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2012.

SAMPAIO, D. P. **Biocombustíveis: Estratégia de longo prazo do Brasil e a barreira da concorrência internacional**. [S.l.: s.n.], 2009. 6 p.

SANTOS, A. S. **Avaliação de parâmetros de trabalho de um trator new holland modelo TL75E-4X2 TDA**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2019.

SANTOS, F. A. **Biocombustíveis: prós e contras**. [S.l.: s.n.], 2012. 11 p

SANGALETTI, Naiane. **Transesterificação química e enzimática de miscela etanólica de óleo de soja**. 2012. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SANTANA, D. M.; FONSECA, M. A. G.; GOMES, M. H. Aplicação da matriz da avaliação

de sustentabilidade: diesel x biodiesel. **Connection Line**, Várzea Grande, v.1, n.17, p.72-85, 2017.

SANTOS, C. F. **Síntese de hidrotalcitas com amido de milho acidificado por ozônio como precursores de catalisadores para produção de biodiesel etílico**. 2018. 80f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2018.

SANTOS, A. V. L. **Inovação nos serviços de transporte rodoviário: o caso da Rio Lopes Transportes LTDA**. 2017. 49f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Econômicas), Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

SERRANO, L. M. V.; CÂMARA, R. M. O.; CARREIRA, V. J. R.; SILVA, M. C. G. da. Performance study about Biodiesel impact on buses engines using dynamometer tests and fleet consumption data. **Energy Conversion and Management**. v. 60, p.2–9, 2012.

SHARMA, Y. C, SINGH, B., UPADHYAY, S. N., Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. **Fuel**, Amsterdam, v.87, n.12, p.2355-2373, 2008.

SILVA, M. S.; TORRES, E. A.; FERNANDES, F. M. Aplicação do modelo de competitividade FECAPBIO na análise do marco regulatório do biodiesel no Brasil. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v.27, n.1, p.50-69, 2017.

SILVA, L. C. M. **Processo de produção de biodiesel e análise de parâmetros de qualidade**. 2014. 102f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética), Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal, 2014.

SILVEIRA, J. C. M.; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; LIMA, S. S.; TROGELLO, E. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciências Agronomias**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 44-52, Mar. 2013.

SILVEIRA, G.M.; SIERRA, J.G. Eficiência energética de tratores agrícolas fabricados no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.4, p.418-424, 2010.

SOUZA, M. A. S. D. **Desenvolvimento de um dinamômetro de fricção de baixo custo para motores de BAJA SAE**. 83f, 2017. Projeto Final (Bacharelado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal Fluminense, 2017.

SOUZA, M. L.; DE FREITAS, D. A. F.; GONÇALVES, C. S. Biodegradabilidade para a produção de energia renovável. **Divers@ Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v.11, n.1, p.26-38, 2018.

SOUZA, L. S. A.; GUARIEIRO, L. L. N.; SANTOS, A. A. B. Avaliação experimental do desempenho de motores do ciclo diesel utilizando misturas biodiesel/diesel marítimo. **Revista Virtual de Química**, v.8, n.4, p.1192-1203, 2016.

STANDARD, A. S. A. E. ASAE D497. 4. **Agricultural Machinery Management Data**. ASAE, St. Joseph, MI, USA, 2003.

STATSOFT. **STATISTICA**: data analysis software system. v.10. Inc. 2011.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. Parâmetros físico-químicos para os processos de produção de biodiesel. 1 ed. **Brasília: CNPq**, v.1, 2013.

TALEBIAN-KIAKALAIEH, A.; AMIN, N. A. S.; MAZAHARI, H. A review on novel processes of biodiesel from waste cooking oil. **Applied Energy**, v.104, p.683-710, 2013.

TINPRABATH, P.; HESPEL, C.; CHANCHAONA, S.; & FOUCHER, F. Influence of biodiesel and diesel fuel blends on the injection rate under cold conditions. **Fuel**, v. 144, p.80-89, 2015.

VIAN, C. E. D. F., JÚNIOR, A., MARTINS, A., BARICELO, L. G., & SILVA, R. P. D. Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 4, p. 719-744, 2013.

VILELA, A. L. C. **Projeto de dinamômetro de cubo de roda para veículos do tipo baja e fórmula sae**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

VOLPATO, C. E. S.; DO PRADO CONDE, A.; BARBOSA, J. A.; SALVADOR, N. Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B 100). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.4, p.1125-1130, 2009.

XIAO, H.; ZOU, H.; LIU, S.; LI, C. An investigation of the friction and wear behavior of soybean biodiesel. **Tribology International**, v. 131, p. 377-385, 2019.

YASIN, M. H. M.; MAMAT, R., YUSOP, A. F.; IDRIS, D. M. N. D.; YUSAF, T., RASUL, M.; NAJAFI, G. Study of a diesel engine performance with exhaust gas recirculation (EGR)

system fuelled with palm biodiesel. **Energy Procedia**, v. 110, p. 26-31, 2017.

WEI, L.; GENG, P. A review on natural gas/diesel dual fuel combustion, emissions and performance. **Fuel Processing Technology**, v.142, p.264-278, 2016.

## ANEXOS

## ANEXO A - Certificado de calibração do analisador de gases de combustão KANE, modelo 940.


**INSTRUTEMP**  
INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO**  
 No. 00198184/20  
*São Paulo, 19 de maio de 2020*



---

**Nome:** Universidade Estadual de Goiás  
UNIVERSIDADE GOIAS

**End.:** Rodovia BR 153, KM 98 3105

**Cidade:** Anápolis

**Bairro:** Fazenda Barreira do Meio

**CNPJ:** 01.112.580/0001-71

**Cód. Cliente:** 3686

**OS. No.:** 173351

**Estado:** GO

**CEP:** 75001-970

**Inscr.:**

**Ficha do Equipamento:**  
No. Série: 040710030

---

**DADOS DO INSTRUMENTO**

Equipamento: Analisador de Gás  
N. de Patrimônio: 093347

Modelo: Kane 940  
TAG: N/C

Marca: KANE  
Data da calibração: 19/05/2020

---

**PROCEDIMENTO**

A execução da calibração foi realizada tendo como documentos de referência o DOQ-CGCRE-088 Rev.01 Agosto/2018 e o DOQ-CGCRE-046 Rev.00 - Maio/2013. A calibração foi realizada pelo método de exposição a uma concentração de gás conhecida e por comparação com o (s) padrão (ões) utilizado (s).

---

**PADRÕES UTILIZADOS**

Cilindro de Monóxido de Carbono (CO), Identificação BC281921, certificado com rastreabilidade NIST, sob o n.º 235931 pelo Laboratório PORTAGAS em janeiro de 2020 com validade até 01/2023.

Cilindro de Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Identificação BC282600, certificado com rastreabilidade NIST, sob o n.º 235866 pelo Laboratório PORTAGAS em janeiro de 2020 com validade até 01/2022.

Cilindro de Óxido Nítrico (NO), Identificação BC287970, certificado com rastreabilidade NIST, sob o n.º 235891 pelo Laboratório PORTAGAS em janeiro de 2020 com validade até 01/2021.

Cilindro de 4 gases (H<sub>2</sub>S / CO / CH<sub>4</sub> / O<sub>2</sub>), Identificação CG-Q58-4, certificado com rastreabilidade NIST, sob o n.º 113776-L3 pelo Laboratório AIRGAS em Abril de 2019 com validade até 04/2021.

Multímetro Digital de Bancada Fluke 8846A, Identificação EI-EMU-14 + Termôresistência PT-100 4 Fios, certificado pela RBC Rede Brasileira de Calibração, sob o n.º E12607/19 pelo Laboratório Elus Instrumentação em Outubro de 2019 com validade até 10/2021.

Rastreabilidade dos padrões pode ser encontrada para download em <http://www.instrutemp.com.br/instrutemp/pagina/institucional/padroes>

---

**INFORMAÇÕES GERAIS**

Condições Ambientais: Temperatura (21 ± 2°C)      Umidade Relativa: (55 ± 10% UR)

- Os resultados a seguir referem-se a uma média de 3 medições subsequentes.
- A incerteza expandida de medição relatada no item RESULTADO DAS MEDIÇÕES é declarada como a incerteza padrão da medição, multiplicada por um fator de abrangência K, o qual para uma distribuição t com  $\nu_{eff}$  graus de liberdade efetivos corresponde a nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- Os resultados válidos para o estado atual do instrumento em condições de ensaio referem-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes. O certificado de calibração não deve ser parcialmente reproduzido sem prévia autorização.

**Legenda:**  
 IM = Instrumento Mensurado      Desvio = IM - Padrão  
 $\nu_{eff}$  = Graus de liberdade efetivos (fator multiplicativo adimensional)      K = Fator de Abrangência

Tempo Sugerido para recalibração: 12 meses      Certificado assinado eletronicamente.

---

**RESULTADO DAS MEDIÇÕES**

| CO  | Padrão | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura 3 | Média | Desvio | Incerteza (U95) |
|-----|--------|-----------|-----------|-----------|-------|--------|-----------------|
| PPM | 800    | 795       | 795       | 795       | 797   | -5     | ± 2%            |

| O <sub>2</sub> | Padrão | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura 3 | Média | Desvio | Incerteza (U95) |
|----------------|--------|-----------|-----------|-----------|-------|--------|-----------------|
| %              | 18     | 18        | 18        | 18        | 18    | 0      | ± 2%            |

| SO <sub>2</sub> | Padrão | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura 3 | Média | Desvio | Incerteza (U95) |
|-----------------|--------|-----------|-----------|-----------|-------|--------|-----------------|
| PPM             | 1000   | 999       | 999       | 999       | 999   | -1     | ± 2%            |









Instrutemp Instrumentos de Medição Ltda

Rua: Fernandes Vieira, 156 - Belenzinho

São Paulo - SP - CEP: 03059-023

CNPJ: 03.996.661/0001-07



**INSTRUTEMP**  
INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

# CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

No. 00198184/20

São Paulo, 19 de maio de 2020



| NO<br>PPM | Padrão<br>1000 | Leitura 1<br>970 | Leitura 2<br>970 | Leitura 3<br>970 | Média<br>985 | Desvio<br>-30 | Incerteza (U95)<br>± 2% |
|-----------|----------------|------------------|------------------|------------------|--------------|---------------|-------------------------|
|-----------|----------------|------------------|------------------|------------------|--------------|---------------|-------------------------|

## Temperatura

| Padrão<br>(°C) | IM<br>(°C) | Desvio<br>(°C) | Incerteza<br>± (°C) | v <sub>eff</sub> | K    |
|----------------|------------|----------------|---------------------|------------------|------|
| 49,998         | 50,0       | 0              | 0,07                | infinito         | 2,00 |
| 150,047        | 150,1      | 0,1            | 0,124               | infinito         | 2,00 |
| 350,198        | 350,2      | 0              | 0,35                | infinito         | 2,00 |

*Jorge Barreiros*

Jorge Matheus  
Técnico em Eletrônica

*Rodolfo Souza*

Rodolfo Souza  
CRT - SP 2613946873  
Técnico em Eletrônica



Instrutemp Instrumentos de Medição Ltda  
Rua: Fernandes Vieira, 156 - Belenzinho  
São Paulo - SP - CEP: 03059-023  
CNPJ: 03.996.661/0001-07