



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DO SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

ANTÔNIO FABRÍCIO DE ALMEIDA

**DESEMPENHO DE GRUPO MOTOR GERADOR ALIMENTADO COM MISTURAS
DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURAS E DIESEL SOB CARGAS VARIADAS**

MOSSORÓ – RN
2016

ANTÔNIO FABRÍCIO DE ALMEIDA

**DESEMPENHO DE GRUPO MOTOR GERADOR ALIMENTADO COM MISTURAS
DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURAS E DIESEL SOB CARGAS VARIADAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Linha de Pesquisa: Manejo do Solo e Água na Agricultura

Orientador: Prof. Dr. Suedêmio de Lima Silva

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Prata Vidal

MOSSORÓ – RN

2016

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

A447d Almeida, Antonio Fabricio de.

Desempenho de grupo motor gerador alimentado com misturas de óleo residual de frituras e diesel sob cargas variadas / Antonio Fabricio de Almeida. - Mossoró, 2016. 48f: il.

Orientador: Prof. Dr. Suedêmio de Lima Silva
Co-Orientador: Prof. Dr. Marcelo Prata Vidal

Dissertação (MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA) Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

1. Biodiesel. 2. Resíduos líquidos - óleo residual de fritura. 3. Grupo motor gerador - ciclo diesel. I. Título

RN/UFERSA/BOT/030

CDD 665.37

Bibliotecário-Documentalista
Maria do Socorro Moura Pontes, Bib. Me. (CRB-15/10.000)

ANTÔNIO FABRÍCIO DE ALMEIDA

**DESEMPENHO DE GRUPO MOTOR GERADOR ALIMENTADO COM MISTURAS DE
ÓLEO RESIDUAL DE FRITURAS E DIESEL SOB CARGAS VARIADAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

DATA DA DEFESA: 29/02/ 2016

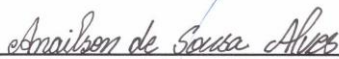
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Suedêmio de Lima Silva (UFERSA)
Orientador
Presidente da Banca



Prof. Dr. Marcelo Prata Vidal – (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Dr. Anailson de Sousa Alves – (UEPB)
Membro Examinador

iv

Aos meus avós Pedro Basílio de Almeida (in memoriam) e Sebastiana Celestina da Costa (in memoriam), maiores espelhos da minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, soberano criador, pelo dom da vida e por estar no controle desta obra.

À minha família, pelo apoio incondicional.

À minha amada esposa Sarah Raquel, por estar comigo nessa empreitada, demonstrando entusiasmo, paciência e compreensão, sobretudo nos momentos mais críticos.

Ao meu filho Levi, que me inspira todos os dias.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água da UFRSA, pela estrutura e pela oportunidade.

Ao professor e orientador Dr. Suedêmio de Lima Silva, pelo conhecimento transmitido e pela dedicação na orientação dessa pesquisa.

Ao Prof. Dr. Marcelo Prata Vidal, por acompanhar as pesquisas e contribuir com seu conhecimento para realização das análises.

Ao bolsista Edigevaldo Santos Silva Segundo, acadêmico do curso de engenharia química, pela assistência na execução das análises.

Aos técnicos administrativos do LIMMA, Carlos e Marcos, que apoiaram a execução dos ensaios.

Ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos, por subsidiar as análises químicas.

Aos colegas de turma que fiz durante o mestrado.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram com este trabalho, seja com sugestões, críticas ou informações.

RESUMO

O óleo residual de fritura (ORF), quando descartado de maneira incorreta, causa impactos negativos ao meio ambiente. Todavia, a sua utilização como biocombustível gera grandes benefícios de ordem social, econômica e ambiental. Objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho de um grupo motor-gerador de ciclo diesel, alimentado com diesel mineral e misturas de diesel com óleo residual de frituras. Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização Agrícola (LIMMA) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram o óleo diesel mineral (DI) e misturas de diesel e óleo residual de fritura (ORF) nas proporções: 50% DI e 50% ORF; 75% DI e 25% ORF; 90% DI e 10% ORF; 100% DI. As cargas resistivas aplicadas foram de 3, 6, 9, 12 e 15 kW. A temperatura do óleo do motor se manteve dentro da faixa de trabalho recomendada (85-95 °C), indicativo de que não houve contaminação do óleo lubrificante. Todas as misturas de ORF apresentaram valores inferiores para temperatura de escapamento em relação ao diesel comercial. Os menores valores de consumo específico (CE) foram obtidos com as maiores cargas, sobretudo nas cargas de 12 e 15 kW. A mistura ORF25 foi a que apresentou a menor potência gerada e o CE mais distante do diesel para todas as cargas aplicadas. Dentre as misturas binárias, a ORF10 apresentou CE semelhante ao do diesel nas cargas de 12 e 15 kW, e a ORF50, nas cargas de 3, 9 e 12 kW; demonstrando que, nessas proporções de mistura, o ORF pode substituir o óleo diesel mineral.

Palavras-chave: Biocombustível; reciclagem; geração de energia; consumo específico.

ABSTRACT

The residual oil frying (ORF), when disposed of incorrectly, cause negative impacts on the environment. However, its use as biofuel, generates great benefits of social, economic and environmental order. The objective of this study was to evaluate the performance of a group cycle diesel engine-generator powered by diesel and mineral diesel blends with residual oil frying. The trials were conducted in machines Instrumentation Laboratory and Agricultural Mechanization (Limma) of the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA) in Mossoró-RN, using a completely randomized design in factorial 4 x 5, with four replications. The treatments were diesel (DI) of oil and mixtures of diesel and residual oil frying (ORF) in the proportions: 50% DI and 50% ORF; DI 75% and 25% ORF; DI 90% and 10% ORF; 100% DI. The resistive loads used were 3, 6, 9, 12 and 15 kW. The engine oil temperature remains within the recommended operating range (85-95 ° C), indicating no lubricating oil contamination. All mixtures ORF had lower values for the exhaust temperature to the commercial diesel. The lower values of specific fuel consumption (EC) were obtained with higher loads, particularly at loads of 12 and 15 kW. The ORF25 mixture was the one with the lowest power generated and the EC farther diesel for all applied loads. Among the binary mixtures, ORF presented SE 10 similar to diesel in loads of 12 and 15 kW and the ORF50, the loads of 3, 9 and 12 kW; demonstrating that such mixing proportions, the ORF can replace mineral diesel.

Keywords: Biofuels; recycling; power generation; specific consumption.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: (A) Resíduos da filtração a pano; (B) Resíduos da filtração a vácuo..... | 14 |
| Figura 2: (A) Óleo residual de fritura filtrado; (B) Óleo de soja virgem refinado..... | 15 |
| Figura 3: Conjunto motor-gerador utilizado no experimento..... | 17 |
| Figura 4: Sistema para aplicação de carga ao grupo gerador. | 18 |
| Figura 5: Botões do banco de cargas; (B) Contatores do banco de cargas. | 19 |
| Figura 6: Painel do medidor de combustível..... | 20 |
| Figura 7: Analisador de energia..... | 21 |
| Figura 8: Comportamento da temperatura do combustível de alimentação e temperatura do ar de admissão. | 26 |
| Figura 9: Temperatura do óleo do motor..... | 27 |
| Figura 10. Temperatura dos gases de exaustão do motor em função da carga do gerador nas diferentes proporções de mistura, tendo como base o diesel comercial..... | 27 |
| Figura 11. Comportamento do consumo específico para diferentes cargas resistivas. | 30 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Padrão de qualidade do óleo de soja virgem e usado. | 7 |
| Tabela 2. Descrição das misturas (% em volume) e respectivas siglas | 14 |
| Tabela 3. Valores médios das propriedades físico-químicas do diesel, das misturas de óleo residual de fritura e do óleo de soja refinado (OSR). | 23 |
| Tabela 4. Frequência média de trabalho do gerador (Hz). | 24 |
| Tabela 5. Desdobramento da interação entre os fatores combustível e cargas aplicadas para a variável temperatura do combustível de alimentação (°C)..... | 24 |
| Tabela 6. Desdobramento da interação entre os fatores combustível e cargas aplicadas para a variável temperatura do ar de admissão (°C). | 25 |
| Tabela 7. Desdobramento da interação entre os fatores combustível e cargas aplicadas para a variável potência gerada pelo conjunto (kW)..... | 26 |
| Tabela 8. Desdobramento da interação entre os fatores combustível e cargas aplicadas para a variável consumo horário volumétrico ($L h^{-1}$)..... | 28 |
| Tabela 9. Desdobramento da interação entre os fatores combustível e cargas aplicadas para a variável consumo específico [$kg (kW h)^{-1}$]. | 29 |
| Tabela 10 Valores de F referentes a temperatura de alimentação (TAL), temperatura de admissão (TAD) potência gerada (PG), consumo horário volumétrico (Chv) e consumo específico (CE). | 36 |

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| RESUMO..... | vii |
| ABSTRACT | viii |
| LISTA DE FIGURAS..... | ix |
| LISTA DE TABELAS..... | x |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 Óleo diesel no brasil..... | 3 |
| 2.2 Características físicas e químicas do diesel | 4 |
| 2.3 Biocombustíveis | 5 |
| 2.4 Óleos vegetais | 5 |
| 2.5 Óleo residual | 6 |
| 2.6 Utilização de biocombustíveis em motor de ciclo diesel..... | 8 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 13 |
| 3.1 Local do experimento | 13 |
| 3.2 Combustíveis utilizados..... | 13 |
| 3.3 Delineamento experimental | 13 |
| 3.4 Tratamento do óleo residual de frituras (ORF)..... | 14 |
| 3.5 Caracterização físico-química das misturas | 15 |
| 3.5.1 Determinação da densidade..... | 15 |
| 3.5.2 Determinação da viscosidade..... | 16 |
| 3.5.3 Determinação do índice de acidez | 16 |
| 3.6 Conjunto motor-gerador..... | 17 |
| 3.7 Sistema para aplicação de carga ao conjunto motor-gerador..... | 18 |
| 3.8 Medição do consumo horário volumétrico de combustível..... | 19 |
| 3.9 Monitoração das temperaturas do combustível, do ar de admissão e escape e do óleo do motor..... | 20 |
| 3.10 Monitoração do gerador | 20 |

| | |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| 3.11 Aquisição de dados | 21 |
| 3.12 Avaliação de desempenho do conjunto | 21 |
| 3.13 Execução dos ensaios | 21 |
| 3.14 Consumo específico de combustível (CEC) | 22 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 23 |
| 4.1 Propriedades físico-químicas..... | 23 |
| 4.2 Frequência média de trabalho do gerador (Hz) | 24 |
| 4.3 Temperatura do combustível e do ar de admissão | 24 |
| 4.4 Potência gerada pelo conjunto | 26 |
| 4.5 Temperatura do óleo do motor | 26 |
| 4.6 Temperatura dos gases de exaustão..... | 27 |
| 4.7 Consumo horário volumétrico (Chv)..... | 28 |
| 4.8 Consumo Específico..... | 28 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 31 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 32 |
| APÊNDICE A | 36 |

1 INTRODUÇÃO

Há longo tempo o homem busca alternativas que sejam ambientalmente corretas e sustentáveis para a produção de energia. Acontecimentos como a baixa produção de energia nas hidrelétricas têm levado o país a aumentar o consumo de energia proveniente das termelétricas, bem como a uma maior reflexão sobre os desafios e vantagens de fontes alternativas de energia. O elevado consumo de combustíveis fósseis em contraste com a diminuição das reservas têm despertado o interesse pela busca de outras fontes de energia, que sejam renováveis e que não agridam ao meio ambiente.

Pesquisas quanto ao uso do óleo vegetal como combustível tiveram início já no século XIX, quando o alemão Rudolph Diesel, criador dos motores do ciclo diesel, elaborou experimentos em motores diesel alimentados com óleo de amendoim e percebeu que os resultados foram satisfatórios, ou seja, equivalentes aos obtidos com o óleo diesel mineral. A ideia de Diesel era que cada cidadão pudesse produzir seu próprio combustível; Porém, por apresentar densidade e viscosidade elevadas, os óleos vegetais foram perdendo espaço para o diesel de petróleo, não mais podendo ser usados puros como combustíveis, pois acarretavam problemas de injeção e queima incompleta do combustível (GUERRA & FUCHS, 2010). Outro agravante é que logo após a segunda guerra os combustíveis derivados do petróleo tornaram-se baratos e abundantes no mercado e o diesel de petróleo tornou-se o principal combustível utilizado em motores diesel.

O Brasil é um país continental, com solo e clima favoráveis a uma grande diversidade de plantas oleaginosas. Dentre as quais destaca-se a soja, que já tem estabilidade comercial e pode ser explorada em várias regiões do país. Todavia, faz-se necessário a avaliação das características físico-químicas dos combustíveis gerados, bem como do comportamento dos motores quando alimentados com estes combustíveis (NIETIEDT, 2011).

É possível afirmar que o óleo vegetal apresenta inúmeras vantagens em relação ao diesel, pois é um produto biodegradável, livre de enxofre, metais pesados e radioatividade, não é volátil, apresenta alto ponto de fulgor e, sobretudo, não é finito (GUERRA & FUCHS, 2010). Além disso, apresentam excelentes características lubrificantes, menor produção de fuligem e são neutros quanto à emissão de CO₂. Todavia, deve-se salientar que a elevada viscosidade dos óleos vegetais podem ocasionar problemas de queima incompleta de combustível e consequente formação de depósitos de gomas nos bicos e cabeçotes do motor, reduzindo o desempenho do motor, bem como sua vida útil, além de elevar os custos de manutenção (MAZIEIRO & CORRÊA, 2004).

A grande maioria dos resíduos gordurosos são provenientes de fritura residencial e comercial, como os óleos de cozinha usados na confecção dos alimentos e em atividades industriais que necessitam de óleo de fritura em grande quantidade; destacando-se ainda, estabelecimentos como hotéis, restaurantes, cantinas e refeitórios (CASTELLANELLI, 2008). Também é possível a extração de óleos e gorduras dos esgotos onde a nata sobrenadante é rica em matéria graxa, bem como das águas residuais de processos de algumas indústrias alimentícias (PARENTE, 2003).

O óleo residual de fritura, quando descartado de forma inadequada, além do mau cheiro, pode gerar problemas como o entupimento da rede de esgoto, poluição de cursos d'água e lençóis freáticos, bem como a impermeabilização do solo (CASTELLANELLI, 2008). Se lançado no solo, o óleo residual de fritura (ORF) tende a preencher o espaço poroso causando a impermeabilização do solo. Além disso, a decomposição do óleo vegetal gera metano, pior gás de efeito estufa, que é um potencializador do aquecimento global.

Segundo dados da ABIOVE (2014), o óleo de soja responde por 75% da produção de biodiesel do país enquanto que o óleo de fritura usado contribui apenas com 1% do montante que é produzido.

De acordo com levantamento prévio feito pelo autor em dez estabelecimentos da cidade de Mossoró que trabalham com óleo e gordura vegetal hidrogenada, constata-se que grande parte dos empresários têm dificuldade quanto ao descarte adequado do óleo e gordura residual, o que é um problema, tanto para eles, quanto para sociedade e, sobretudo, para o meio ambiente. Desta forma, apenas uma pequena parte do óleo residual da cidade é reutilizada, estando seu uso geralmente associado a produção de sabões. Outro inconveniente é a impossibilidade de quantificar o volume de óleo residual gerado, pois como não há legislação que determine o período de troca do óleo usado, o tempo de utilização do mesmo varia entre os estabelecimentos.

No Brasil têm sido desenvolvidos diversos projetos e pesquisas acerca de biocombustíveis, porém dados referentes à tecnologia de utilização do óleo residual de fritura como biocombustível ainda são escassos; apesar do país gerar quantidade vultosa de óleo residual. Neste cenário, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho de um grupo gerador com motor de ciclo diesel, a partir do consumo específico de combustível e geração de energia elétrica, operando sob cargas variadas e com diferentes proporções de diesel e óleo residual de fritura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Óleo diesel no brasil

Trata-se de um óleo combustível de origem mineral utilizado nos motores de combustão interna com ignição por compressão. Constituído basicamente por hidrocarbonetos saturados, o óleo diesel é um composto formado principalmente por átomos de carbono, hidrogênio e em baixas concentrações por enxofre, nitrogênio e oxigênio, selecionados de acordo com as características de ignição e de escoamento adequadas ao funcionamento dos motores diesel (ALEME, 2011).

Ainda afirma que óleo diesel é um produto pouco inflamável, mediamente tóxico, pouco volátil, límpido e com uma característica de odor forte e determinante.

Segundo Brunetti (2012), o óleo diesel é o combustível mais empregado no Brasil, sendo utilizado majoritariamente no setor rodoviário (acima de 80%), devido a matriz de transporte ser, em sua maioria, rodoviária.

Desde 2008, em função da Lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005, todo óleo diesel nacional disponível ao consumidor final é acrescido de biodiesel. Em novembro de 2014 alcançou-se a mistura de 7%. Há tendência de aumento desse teor nos próximos anos (BRASIL, 2014).

Brasil (2013) classifica os tipos de diesel de uso rodoviário em:

- Óleo diesel A: combustível produzido nas refinarias, nas centrais de matérias-primas petroquímicas e nos formuladores, destinado a veículos dotados de motores do ciclo diesel, de uso rodoviário, sem adição de biodiesel;
- Óleo diesel B: óleo diesel A adicionado de biodiesel no teor estabelecido pela legislação vigente.

A mesma Resolução estabelece que os óleos diesel A e B deverão apresentar as seguintes nomenclaturas, conforme o teor máximo de enxofre:

- Óleo diesel A S10 e B S10: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 10 mg/kg;
- Óleo diesel A S500 e B S500: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 500 mg/kg.

Para os segmentos agrícola, de construção e industrial somente é permitida a comercialização dos óleos diesel B de uso rodoviário.

O óleo diesel com adição de biodiesel é conhecido mundialmente pela letra B, mais o número correspondente à quantidade de biodiesel adicionado à mistura. Por exemplo, B2, B5, B20 e B100 são combustíveis com uma concentração de 2%, 5%, 20% e 100% de biodiesel, respectivamente (CNT, 2012).

Segundo dados da ANP (2015a), as vendas de combustíveis no mercado brasileiro passaram de 137,323 bilhões de litros em 2013 para 144,575 bilhões de litros em 2014; ou seja, houve aumento de 5,28% em relação a 2013. Houve aumento de 2,49% na comercialização de óleo diesel B (óleo diesel adicionado de biodiesel) na comparação entre 2013 e 2014, de 58,571 bilhões de litros para 60,032 bilhões de litros. Devido ao aumento do teor de adição de biodiesel ao óleo diesel B, que passou de 5% para 6% em julho de 2014, e de 6% para 7% em novembro de 2014; as vendas de biodiesel também tiveram aumento de 16,45%, passando de 2,929 bilhões de litros em 2013, para 3,410 bilhões de litros em 2014.

2.2 Características físicas e químicas do diesel

Brasil (2013), regulamenta as especificações do óleo diesel de uso rodoviário e estabelece as principais características que devem ser controladas para que os veículos tenham desempenho adequado e emissões de acordo com as normas estabelecidas pelos órgãos ambientais, dando destaque como principais propriedades:

- Número de cetano: mede a qualidade de ignição do óleo diesel e tem influência direta na partida do motor, no funcionamento sob cargas e nas emissões. Corresponde ao tempo decorrido entre o início da injeção do combustível e o início da combustão (atraso de ignição) (BRUNETTI, 2012).
- Densidade (kg dm^{-3}): relaciona a massa por unidade de volume. Esta propriedade é importante nos motores que operam segundo o ciclo diesel porque, nestes casos, a injeção de combustível na câmara de combustão é feita em um sistema de medida volumétrica (TEIXEIRA, 2010). Valente (2008), afirma que o aumento da massa específica do combustível no motor implica em aumento de energia, isto é, aumento no seu desempenho; entretanto, ocorre aumento nas emissões dos gases de exaustão, notadamente, das emissões de material particulado.
- Viscosidade cinemática ($\text{mm}^{-2} \text{s}^{-1}$): caracteriza a resistência do líquido ao escoamento. O excesso de viscosidade é prejudicial porque reduz a potência do motor. Por outro lado, viscosidades muito baixas reduzem a lubrificação do sistema e produzem vazamentos (TOTTEN et al, 2003).

- Lubricidade: poder de lubrificação do combustível. Diferentemente dos motores movidos à gasolina, os motores a óleo diesel, exigem que o combustível tenha propriedades de lubrificação, especialmente, em razão do funcionamento da bomba, exigindo que o líquido que escoar lubrifique adequadamente suas peças em movimento (PARENTE, 2003).
- Teor de enxofre (mg/kg): para Brunetti (2012), o teor de enxofre tem duas influências básicas: diretamente, nas emissões de particulados, e indiretamente, através da formação de depósitos e ocorrência de corrosão no motor.

2.3 Biocombustíveis

Os biocombustíveis são fontes de energia renováveis oriundas de produtos vegetais e animais, tais como plantas oleaginosas, biomassa florestal, cana-de-açúcar, mandioca, milho e beterraba, excrementos de animais, resíduos agrícolas, entre outras. Podem substituir, parcial ou totalmente, os combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia (ANP, 2015b).

Todavia, Escobar et al., 2009, destacam que a produção e utilização final dos biocombustíveis podem gerar graves impactos ambientais, como a destruição das florestas, utilização de grandes quantidades de água, a redução na produção de alimentos e o aumento da degradação do solo.

Os dois principais biocombustíveis líquidos usados no Brasil são o etanol extraído de cana-de-açúcar e o biodiesel, que é produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais e adicionado ao diesel de petróleo em proporções variáveis. Ainda afirma que cerca de 18% dos combustíveis e 45% da energia consumidos no Brasil já são renováveis (ANP, 2015b).

2.4 Óleos vegetais

O Brasil apresenta uma grande diversidade de plantas oleaginosas distribuídas em todas as regiões do país, representadas por espécies como: dendê, macaúba, babaçu, tucum, coco, buriti, noz pecã, castanha, macadâmia, pinhão, amendoim, soja, canola, nabo forrageiro, pinhão-mansão, tungue, girassol, algodão, linhaça, gergelim, crambe, cártamo, nim e moringa, dentre muitas outras (GUERRA; FUCHS, 2010). Contudo, independentemente de qual seja a matéria-prima utilizada, é necessário a avaliação das características físico-químicas dos

combustíveis gerados, assim como seu efeito no desempenho mecânico do motor (NIETIEDT, 2011)

Guerra & Fuchs (2010), elencam algumas vantagens do óleo vegetal em relação à gasolina e ao diesel obtido do petróleo: é um produto regenerativo (não finito), neutro quanto à emissão de CO₂, livre de enxofre, metais pesados e radioatividade, não é volátil, é biodegradável, apresenta alto ponto de fulgor, ou seja, não é inflamável/explosivo, pode ser produzido em vários países e sob as mais variadas condições climáticas. Todas essas características fazem do óleo vegetal um combustível seguro e de baixo custo. Porém, Kaltner (2004), alerta sobre alguns problemas advindos do uso de óleos vegetais em motores diesel: a dificuldade de partida a frio, devido a elevada viscosidade dos óleos vegetais; a formação de gomas nos bicos injetores; o desgaste de componentes da bomba injetora, por conta da acidez do óleo, bem como a formação de depósitos de carvão na câmara de combustão, nos cilindros e nas válvulas.

É recomendável que, se o óleo vegetal for comestível ou medicinal, a sua utilização como combustível deve ser feita apenas em segundo lugar; já que a venda de óleo virgem comestível e medicinal garante ganhos maiores que seu uso como combustível (GUERRA; FUCHS, 2010).

Segundo Reis (2013), a soja é a cultura mais utilizada no Brasil para produção de óleos vegetais porque já tem estabilidade comercial e apresenta condições edafoclimáticas que possibilitam sua exploração na maioria das regiões do país quando comparada a outras oleaginosas.

2.5 Óleo residual

A maior parte dos resíduos gordurosos são provenientes de fritura residencial e comercial; os quais, frequentemente, são descartados de modo inadequado em pias de cozinha ou junto ao lixo, ou são lançados diretamente nos corpos hídricos e no solo; o que os torna fonte potencial de degradação ambiental (MURTA; GARCIA, 2009).

De acordo com Parente (2003), as principais fontes de óleos e gorduras residuais são: as indústrias que processam frituras de produtos alimentícios; as lanchonetes e cozinhas industriais, comerciais e domésticas; os esgotos onde a nata sobrenadante é rica em matéria graxa, que torna possível a extração de óleos e gorduras; e as águas residuais de processos de algumas indústrias alimentícias.

Matsuoka (2009), divide o processo de fritura em contínuo e descontínuo, em que no processo contínuo não ocorre o resfriamento intermediário do óleo ou gordura, sendo este o

processo de fritura industrial utilizado para a produção em larga escala de batatas, empanados, massas e outros gêneros alimentícios pré-prontos. Já o descontínuo, é o procedimento normalmente empregado pela maioria dos estabelecimentos comerciais, tais como restaurantes, bares, lanchonetes, padarias e pastelarias; onde os óleos e gorduras são submetidos a sucessivos aquecimentos e resfriamentos ao longo do seu período de uso.

De acordo com o mesmo autor, durante o procedimento de fritura, três agentes são capazes de alterar significativamente a composição e as características do óleo residual: a água presente nos alimentos, o oxigênio presente no ar e as altas temperaturas envolvidas no processo; tornando o óleo residual um composto bastante heterogêneo.

Durante o processo de fritura (aquecimento do óleo em temperaturas entre 160 e 220 °C na presença de ar durante longos períodos de tempo) ocorrem alterações físico-químicas no óleo, dentre as quais, Costa Neto et al. (2000), destacam o aumento da viscosidade e do calor específico; diminuição do número de iodo (número proporcional ao teor de insaturação do composto), mudança na tensão superficial, mudança no aspecto (cor), aumento da acidez devido à formação de ácidos graxos livres, odor desagradável (ranço) e aumento da tendência do óleo em formar espuma.

A Tabela 1 apresenta as características físico-químicas que deve apresentar um óleo de soja refinado segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) em comparação com a amostragem de um óleo de soja já utilizado em processos de frituras.

Tabela 1. Padrão de qualidade do óleo de soja virgem e usado.

| Parâmetro físico-químicos | Óleo residual de frituras | Óleo de soja refinado |
|-----------------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Acidez (mg NaOH g ⁻¹) | 2,340 | Máx. 0,060 |
| Umidade e voláteis (%) | 0,210 | Máx. 0,060 |
| Densidade a 25°C (kg dm ⁻³) | 0,931 | 0,919 a 0,925 |
| Índice de refração a 25°C | 1,489 | 1,470 a 1,476 |
| Rancidez | Não constatado | Ausência |
| Índice de saponificação | 186 | 189 a 198 |

Fonte: Moecke et al (2012)

O descarte incorreto do óleo de fritura usado, seja gerado pelas indústrias ou pela população, causa diversos impactos ao ambiente, gerando problemas como entupimentos de tubulações e de sistemas de esgoto doméstico, necessidade do aumento de insumos químicos nas estações de tratamento das cidades e poluição de rios e lençóis freáticos. Essa causa tem

motivado órgãos governamentais a incentivarem pesquisas nesta direção para minimização destes problemas (CASTELLANELLI, 2008).

Outros impactos ambientais estão relacionados à diminuição da oxigenação das águas contaminadas pelo descarte incorreto do óleo residual, que, por formarem uma fina camada superficial, impedem a oxigenação, bem como o desenvolvimento de algas marinhas. Dessa forma, é possível afirmar que para reverter esses impactos são necessárias vultuosas quantias, o que afeta o orçamento das prefeituras para o tratamento destas águas (FERNANDES et al., 2008).

Fernandes (2012), analisando o desempenho de motor diesel com a utilização de biocombustível obtido a partir do reuso de óleo, afirma ser tecnicamente viável o uso do óleo residual de fritura como base para a produção do biodiesel, destacando que seria uma solução alternativa para o problema de destinação incorreta do óleo usado, haja vista seu alto poder de contaminação do solo e da água, quando descartado incorretamente.

2.6 Utilização de biocombustíveis em motor de ciclo diesel

O primeiro motor inventado por Rudolf Diesel, em 1893, utilizava óleo de amendoim. Na década de 1910, a indústria direcionou trabalhos de desenvolvimento do motor para utilização com diesel, o óleo cru do petróleo. Por apresentar densidade e viscosidade elevadas, os óleos vegetais foram perdendo espaço para o diesel de petróleo; dessa forma, os óleos vegetais não puderam mais ser usados puros como combustíveis, pois acarretavam problemas de injeção e queima incompleta do combustível (GUERRA; FUCHS, 2010). O mesmo autor defende que o óleo vegetal seja misturado com o diesel de petróleo, ou que se faça uma adaptação no motor para que seja usado 100% de óleo.

Estudando a análise e diagnose de diesel-geradores operando com óleo de dendê “in natura”, Pimentel (2002) declara que é necessário aquecer o óleo de dendê a uma temperatura próxima dos 85°C para que a sua viscosidade fique próxima à do óleo diesel, melhorando as condições de operação do motor e, conseqüentemente, o desempenho do mesmo. O autor verificou que, quanto à análise comparativa de potência no motor de injeção direta, houve perda de 4% na potência ao final das 350 horas de teste com óleo de dendê e, em relação ao diesel, houve uma queda de 8%.

Souza (2006), avaliando sistemas catalíticos na produção de biodiesel por meio de óleo residual, afirma que este tem se apresentado como uma possibilidade entre as matérias-primas do biodiesel, devido sua fácil aquisição e a viabilidade em não descartá-lo como resíduo. O mesmo autor ressalta a importância da criação de um eficiente sistema de coleta de

óleos usados bem como de um programa de substituição parcial de óleo diesel por biodiesel de óleo de fritura.

Avaliando o desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinamométrica utilizando misturas diesel/biodiesel, Castellaneli et al. (2008), constataram que as misturas B2, B5 e B10 apresentaram desempenho semelhante ao do diesel. O B20 destacou-se, apresentando desempenho superior ao do diesel. Na sequência da análise do desempenho das misturas de B50 e B75, houve queda do desempenho de forma gradual à medida que se aumentou a porcentagem de biodiesel. Conforme o mesmo autor, o biodiesel puro (B100) apresentou o pior desempenho e o funcionamento do motor foi normal para todas as misturas, inclusive com o B100.

Barbosa e Pasqualetto (2008), em estudo sobre o aproveitamento do óleo residual de fritura na produção de biodiesel, também afirma que vale a pena reutilizar o óleo descartado de frituras para a produção de biodiesel e recomenda que se crie uma legislação para a disposição de óleos e gorduras residuais, dando sustentação ao mecanismo de educação ambiental, logística de transporte, armazenamento etc.

Soranso et al. (2008), avaliaram o desempenho dinâmico de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado de óleo residual, nas proporções de 5, 15, 25, 50, 75 e 100% de mistura com diesel de petróleo. Houve aumento no consumo horário de combustível quando do acréscimo nas porcentagens de biodiesel. Quanto ao consumo específico de combustível, o aumento das porcentagens de biodiesel fez com que o consumo aumentasse, passando de 0,294 (B0) para 0,347 (B100) [kg (kW h)⁻¹], representando um aumento médio de 18%. Quanto ao rendimento efetivo na barra de tração, houve decréscimo com as maiores porcentagens de biodiesel na mistura, devido à diminuição da conversão da energia química do combustível em energia mecânica, na forma de tração.

Valente (2008), avaliou o desempenho e emissões de um motor-gerador de energia elétrica operando com biodiesel. Quanto às propriedades físico-químicas dos combustíveis, a massa específica das misturas contendo biodiesel foi maior que a do óleo diesel mineral, sendo que o biodiesel de soja apresentou massa específica mais próxima do óleo mineral. Todas as amostras de biodiesel apresentaram teor de enxofre inferior 500 mg/kg (limite estabelecido pelas normas vigentes para aplicações metropolitanas). Valores inferiores a 50 mg/kg foram obtidos quando a concentração de biodiesel ultrapassou 85%. O consumo de combustível do motor aumentou quando este foi alimentado com biodiesel de soja ou de mamona, sendo que o de mamona apresentou menor consumo de combustível que o de soja para todas as concentrações de mistura.

Volpato (2009), analisando o desempenho de um motor diesel quatro tempos, alimentado com biodiesel de óleo de soja (B100), afirma ser viável a operação de um motor ciclo diesel com biocombustível (B100) soja. Quanto ao torque, houve perda com a utilização do biocombustível, sendo 10,7% menor ao diesel na rotação de trabalho. O diesel fóssil apresentou resultados de potência reduzida melhor que o biodiesel de soja, sendo 6,1% maior ao biodiesel, na rotação de trabalho. O mesmo autor cita que o biodiesel de soja apresentou menor consumo específico e energético em relação ao diesel, sendo 14,66 % menor na rotação de trabalho (540 rpm).

Em estudo sobre o biodiesel de mamona no diesel interior (S1800) e metropolitano (S500) em trator agrícola, Tabile et al. (2009) atestaram que à medida que se aumentou a proporção de biodiesel (B0 até B100) nos dois tipos de diesel, o consumo também aumentou e que, para a maior carga na barra de tração, ocorreu aumento no consumo horário volumétrico e ponderal, e o inverso, para o consumo específico.

Segundo Guerra e Fuchs (2010), é possível misturar ao diesel de 15% a 50% de óleo vegetal, sem a necessidade de adaptação no motor a diesel, porém deve-se dar uma maior atenção ao óleo do cárter e verificar regularmente os bicos injetores. O mesmo autor afirma que o desempenho dos motores movidos a óleo vegetal é equivalente aos movidos a diesel e um pouco melhor que por biodiesel, isso por conta da sua maior lubrificidade.

Utilizando misturas de óleo diesel (OD) e óleo de soja reutilizado (OSR) em um trator agrícola de pneus, Siqueira (2010), constatou que a massa específica das misturas aumenta com o aumento da percentagem de OSR e diminuem com o aumento da temperatura; o menor consumo específico encontrado foi verificado para mistura de 0% de OSR e que a mudança de combustível provocou variação no consumo específico do motor, sendo que a mistura 0% de diesel com 100% OSR, obteve maior consumo específico comparada com as demais; o OSR se mostrou uma alternativa viável para ser utilizado em misturas com OD para acionamento de motores.

Teixeira (2010), avaliou as emissões e desempenho de motores diesel utilizando óleo diesel comercial, biodiesel de palma (B100) e misturas (BX), afirma que o biodiesel de palma (B100) tem poder calorífico inferior ao do óleo diesel comercial (B3) e (B4). Dessa forma, se um motor abastecido com óleo diesel comercial gerar uma determinada potência, este motor, se estiver abastecido com (B100) e operando nas mesmas condições, terá um consumo maior de combustível para a mesma potência gerada.

Maronhas et al. (2010) usando misturas de óleo de soja reutilizado com óleo diesel em um motor estacionário, verificaram que o óleo de soja reutilizado é um combustível eficiente e viável para ser utilizado em motores estacionários, desde que misturado em

proporções menores do que o óleo diesel. O mesmo autor destaca que são necessários estudos referentes ao desgaste do motor para utilização de misturas de óleo diesel e óleo de soja reutilizado após um longo período de funcionamento do motor.

Em estudo sobre a produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um moto-gerador, Dib (2010) afirma que para uma mesma proporção de mistura, o biodiesel de origem residual apresenta viscosidade superior ao de origem animal que, por sua vez apresenta viscosidade maior que o de origem vegetal. O autor atesta que nos testes no moto-gerador, tanto o consumo horário quanto o consumo específico de combustível e a temperatura dos gases de exaustão aumentaram com o aumento da carga aplicada; sendo o biodiesel proveniente do óleo de fritura o que apresentou o menor consumo específico. Acredita que o óleo residual reciclado deve se tornar uma matéria-prima promissora como fonte para a geração de energia elétrica. Para qualquer faixa de potência resistiva utilizada, houve pouca diferença no consumo quando comparados entre si, combustíveis de mesmo percentual de diesel/biodiesel na composição e verificou que o biodiesel proveniente do óleo de fritura apresentou menor consumo específico, sobretudo a mistura B50.

Nietiedt et al. (2011), ao analisarem o motor de um trator agrícola acoplado à bancada dinamométrica utilizando diesel de petróleo e biodiesel de soja, avaliaram o CE do diesel em $0,235 \text{ [kg (kW h)}^{-1}]$ como menor que o CE do BS100 que foi de $0,264 \text{ [kg (kW h)}^{-1}]$.

Silva et al. (2012), em estudo sobre o desempenho de um conjunto motor gerador ciclo diesel sobre cinco proporções de biodiesel com óleo diesel, observaram que o desempenho do conjunto para cargas abaixo de 1,5 kW mostrou-se menor, devido ao maior consumo específico de combustível (CEC) e consequente redução na eficiência do conjunto motor gerador para esta faixa de potência. Para as proporções de biodiesel B40, B60 e B100 os resultados mostraram redução no valor calórico e aumento do CEC. O mesmo autor cita que o combustível óleo diesel possui valor calórico maior que o biodiesel e que a proporção com 20% de biodiesel no combustível substitui parcialmente o óleo diesel, sem perdas significativas de desempenho do motor em consumo específico de combustível, eficiência ou valor calórico do combustível.

Analisando o desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja, Reis et al. (2013) constataram que houve aumento no consumo de combustível quando foi aumentada a concentração de biodiesel na mistura e/ou a carga aplicada no sistema. Verificaram também, que com o aumento da concentração de biodiesel na mistura, ocorreu aumento na eficiência do processo de combustão devido à menor temperatura dos gases de escape; onde os autores explicam que o biodiesel apresenta

maior quantidade de moléculas livres de oxigênio, ocasionando mais equilíbrio entre combustível e comburente.

Analisando o desempenho de um conjunto motor-gerador utilizando biocombustíveis sob cargas variadas, Rigotte (2014), constatou que o menor consumo específico (CE) foi do diesel, com $0,3491 \text{ [kg (kW h)}^{-1}]$ para a carga resistiva de 5 kW, sendo menor que os biocombustíveis testados, em qualquer carga resistiva. O CE apresentou relação inversamente proporcional com a carga resistiva, porém com decréscimos cada vez menores com o aumento da carga. O autor ainda afirma que com o acréscimo da carga resistiva o biocombustível apresenta CE mais próximo do diesel, indicando que sua utilização em operações mais próximas da capacidade nominal são mais eficientes.

Apesar de alguns trabalhos apresentarem como completa a adaptação do biodiesel e do óleo residual de fritura ao motor de ciclo diesel, outros resultados permitem observar alguns problemas. Avaliando o desempenho de motor diesel com misturas de biodiesel de óleo de girassol, Corrêa et al. (2008), verificaram que o uso das misturas B5, B10, B20 e B100 de éster etílico de óleo de girassol proporcionou alteração no desempenho do motor, com redução máxima de 2,2% na potência e aumento máximo de 7,3%, no consumo específico.

Lôbo e Ferreira (2009) destacam que a atomização do biodiesel é prejudicada por conta da sua elevada viscosidade, ocasionando heterogeneidade na combustão e possibilidade de deposição de resíduos nas partes internas do motor. Os autores ainda citam que o biodiesel tem ponto de fluidez, de entupimento de filtro a frio, de névoa e de solidificação a temperaturas mais elevadas quando comparadas as do diesel de petróleo e sugerem a adaptação da máquina para esse tipo de situação.

Fiorese et al. (2012), estudando o desempenho de um motor de trator agrícola em bancada dinamométrica com biodiesel de óleo de frango e misturas binárias com óleo diesel, constataram que a adição de biodiesel reduziu o consumo energético e aumentou a eficiência térmica do motor, passando de 30,67% com B5 (testemunha) para 32,35% com B100; porém, a melhoria da eficiência do motor não foi suficiente para manter a potência, o torque e o consumo de combustível nos mesmos patamares que a testemunha (B5), apresentando comportamento linear conforme aumento da proporção de biodiesel. Ainda afirma que houve redução de 2,01% na potência máxima, 4,29% no torque máximo e aumento de 9,56% no consumo específico de combustível, fatores influenciados pelo menor poder calorífico do biodiesel.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, pertencente ao Departamento de Agrotecnologia e Ciências Sociais (DACS) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, nos meses de junho e dezembro de 2015. Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização Agrícola (LIMMA), pertencente ao Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas (DCAT) da UFERSA, em Mossoró-RN, durante o período de março a dezembro de 2015.

3.2 Combustíveis utilizados

O diesel de petróleo usado foi do tipo S500, adquirido em estabelecimento comercial da região. Este apresentou composição B7, ou seja, contendo 7% de biodiesel em sua composição, devido à legislação vigente no país, sendo considerado como puro (100% diesel) devido à impossibilidade de identificação da matéria prima de origem deste biodiesel, bem como de sua influência nos resultados dos ensaios.

O óleo residual de fritura (ORF) foi coletado em dois pontos da cidade que geram grande fluxo diário de óleo residual: Candidus Restaurante e Hotel VillaOeste. Foram coletados cinco lotes dos locais acima referidos.

3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 5, composto por quatro misturas de combustível (DI, ORF10, ORF25, ORF50) conforme Tabela 2 e cinco cargas (3, 6, 9, 12, 15) kW, com quatro repetições, totalizando 80 unidades experimentais.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade com auxílio do programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011).

Para a realização das avaliações foram usadas misturas de óleo diesel (DI) com óleo residual de fritura (ORF) nas proporções descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição das misturas (% em volume) e respectivas siglas

| DENOMINAÇÃO | COMPOSIÇÃO |
|-------------|---------------------------------------------------------|
| DI | 100% de óleo diesel mineral S500 B7 |
| ORF10 | 10% de óleo residual de fritura e 90% de diesel S500 B7 |
| ORF25 | 25% de óleo residual de fritura e 75% de diesel S500 B7 |
| ORF50 | 50% de óleo residual de fritura e 50% de diesel S500 B7 |

3.4 Tratamento do óleo residual de frituras (ORF)

Antes de ser utilizado nas misturas com o óleo diesel, o óleo residual de fritura passou pelos processos de filtragem a pano, onde foi utilizado um pano de algodão C40, para retirada de impurezas e partículas indesejáveis de tamanhos maiores; seguida da filtragem a vácuo, com papel de filtro qualitativo, para retirada das partículas e impurezas de menor tamanho (Figura 1). Feito isso, o óleo, agora com aspecto que pode ser visualizado na Figura 2, que mostra ainda o contraste visual entre este e o óleo de soja virgem refinado, foi acondicionado em tambores de 20 litros.



(A)



(B)

Fonte: Arquivo do pesquisador (2015).

Figura 1: (A) Resíduos da filtragem a pano; (B) Resíduos da filtragem a vácuo.



(A)



(B)

Fonte: Arquivo do pesquisador (2015).

Figura 2: (A) Óleo residual de fritura filtrado; (B) Óleo de soja virgem refinado.

Foi utilizada uma amostra de óleo de soja bruto refinado obtida em mercado local, a qual foi aquecida à temperatura de 180°C por cerca de 48 horas; tornando-se uma amostra padrão, cujas características físico-químicas serviram como base referencial para as demais amostras de ORF.

O lote 02 e o lote 05 foram descartados por formarem precipitados, demonstrando que essas amostras estavam contaminadas com gordura vegetal hidrogenada. Os demais lotes (01, 03 e 04) foram misturados, dando origem a uma amostra composta, a qual teve suas características físico-químicas analisadas e foi misturada ao diesel mineral nas proporções descritas no trabalho.

3.5 Caracterização físico-química das misturas

Para a caracterização físico-químicas das misturas utilizadas determinou-se a densidade, a viscosidade e o índice de acidez. Todas as medidas foram realizadas em triplicata.

3.5.1 Determinação da densidade

As análises de densidade foram realizadas por picnometria nas faixas de 30 e 50°C de temperatura; sendo que, após os testes no grupo gerador, em posse dos dados da temperatura média de alimentação do combustível para cada mistura de ORF, foram feitas novas análises

de densidade. Os materiais utilizados foram: proveta graduada de 50 mL , balança semi-analítica da marca: acculab -startorius group tipo ALC - 210.4., picnômetro de 10 ml, água destilada e a mistura ORF/diesel. O processo consistiu em pesar o picnômetro em balança semi-analítica, determinando massa do picnômetro vazio (M1). Em seguida, mediu-se o volume de mistura ORF/diesel em uma proveta e o transferiu para o picnômetro, que foi posteriormente pesado, resultando na massa M2. Feito isso, efetuou-se, então, a medição da massa da solução transferida: que equivale a massa do picnômetro cheio (M2) subtraída da massa do picnômetro vazio (M1). Finalmente, determinou-se a densidade a partir da equação (1).

$$DENSIDADE(mistura) = \frac{MASSA(mistura)}{VOLUME(mistura)} \quad (1)$$

3.5.2 Determinação da viscosidade

As análises de viscosidade foram realizadas em um reômetro Brookfield DV-II+, com o spindle SC4-18, velocidades rotacionais entre 10 e 220 rpm, na temperatura de 30°C.

3.5.3 Determinação do índice de acidez

Para determinação do índice de acidez foram pesadas 2 g de óleo de cada amostra, em frasco Erlenmeyer 125 mL, onde foram adicionados 20 mL de solução éter-álcool (2:1) neutra, e logo após, duas gotas do indicador fenolftaleína. As amostras foram tituladas com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1N até a viragem para coloração rosa persistente por 30 segundos. Os dados obtidos foram aplicados na equação (2), descrita em Instituto Adolfo Lutz (2008):

$$IA = \frac{V \cdot f \cdot 4,0}{P} \quad (2)$$

Em que:

IA% - índice da acidez em porcentagem;

V - solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01 M gasto na titulação (mL);

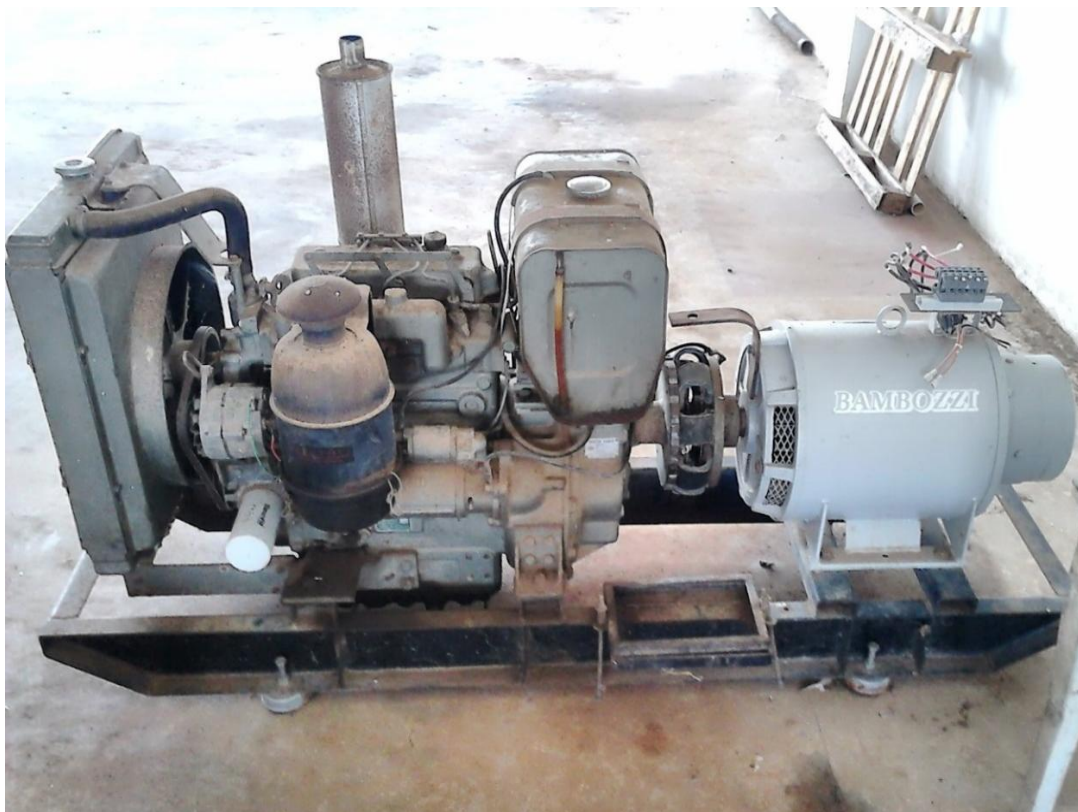
F - fator da solução de hidróxido de sódio 0,01 M; e

p - massa da amostra usada na titulação (g).

3.6 Conjunto motor-gerador

Para a realização dos ensaios foi utilizado um conjunto motor-gerador de ciclo diesel, (Figura 3), composto por um motor da marca Yanmar, modelo BTD 33B, rotação nominal de 2300 rpm, rotação da tomada de força de 1800 rpm, com potência de 30 cv. O gerador é da marca BAMBOZZI, trifásico, rotação nominal de 1800 rpm, frequência de 60 Hz e potência máxima de 24 kVA, tensão de saída configurável para 110 / 220 / 380 /440 V e controle de tensão com capacitor (sem escova); onde neste experimento o mesmo foi configurado para tensão de saída de 220V. Antes dos ensaios, o equipamento passou por revisão para regulagem em estabelecimento credenciado pela marca.

Durante os ensaios foi utilizado um acelerador eletrônico de controle manual para manter a frequência sempre na faixa de 60 Hz, devido a tendência de oscilação na rotação com a variação de cargas aplicadas ao gerador.



Fonte: Arquivo do pesquisador (2015).

Figura 3: Conjunto motor-gerador utilizado no experimento

3.7 Sistema para aplicação de carga ao conjunto motor-gerador

Para simulação da carga, foi utilizado um banco de resistência, (Figura 4), fabricado pela RA Eletromecânica industrial composto por oito conjuntos de resistências, sendo quatro equivalentes a 0,99 kW e quatro equivalentes a 5,01 kW, totalizando 24 kW, com potência dissipada baseada em tensão de alimentação de 220 VCA. As cargas foram acionadas através de botoeiras ligadas a contadores (Figura 5), instaladas em um painel de comando que acionam individualmente cada resistência. Foram aplicadas cargas ao grupo gerador de 3, 6, 9, 12 e 15 kW.



Fonte: Arquivo do pesquisador (2015).

Figura 4: Sistema para aplicação de carga ao grupo gerador.



(A)



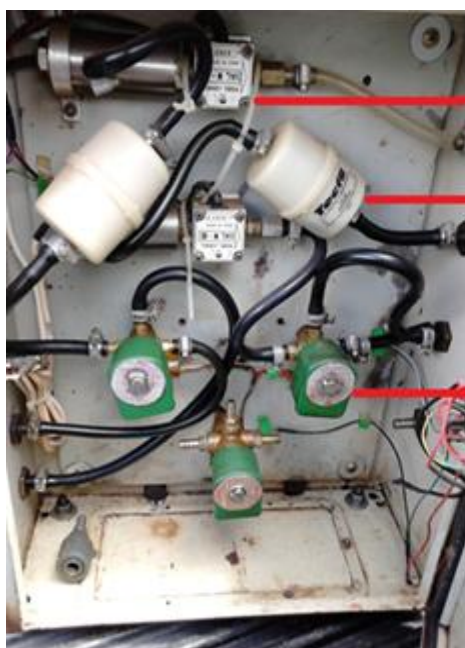
(B)

Fonte: Arquivo do pesquisador (2015).

Figura 5: Botões do banco de cargas; (B) Contatores do banco de cargas.

3.8 Medição do consumo horário volumétrico de combustível (Chv)

Para a medição do consumo horário de combustível foram utilizados dois fluxômetros da marca Oval, (Figura 6), modelo Flowmate LSN 40, com precisão de 1ml por pulso. Os medidores de fluxo foram inseridos um depois do filtro primário, medindo a quantidade de combustível que entra na bomba injetora e o segundo instalado na linha de retorno dos bicos injetores para o tanque, medindo o combustível que não foi consumido. O tempo de realização de cada teste foi contabilizado no sistema de aquisição e registro de dados.



FLUXÔMETRO

FILTRO DE COMBUSTÍVEL

VÁLVULA SOLENÓIDE

Fonte: Arquivo do pesquisador (2015).

Figura 6: Painel do medidor de combustível

Os valores obtidos foram inseridos na equação (3), adaptada de Reis et al. (2013), com o fim de converter o consumo para $L h^{-1}$.

$$Chv = \frac{Va - Vr}{t} \times 3,6 \quad (3)$$

Em que:

Chv - consumo horário volumétrico de combustível ($L h^{-1}$);

Va - volume de combustível na alimentação (mL);

Vr - volume de combustível no retorno (mL);

t - tempo de duração da repetição (s); e

3,6 - fator de conversão de $mL s^{-1}$ para $L h^{-1}$.

3.9 Monitoração das temperaturas do combustível, do ar de admissão e escape e do óleo do motor

Para monitorar a temperatura do combustível foram utilizados sensores de temperatura resistivo (PT100) com encapsulamento de aço inoxidável. Sendo um instalado na linha de alimentação do combustível antes do medidor de fluxo e outro na linha de retorno, monitorando as temperaturas do combustível de entrada e retorno.

Os sensores para monitoramento das temperaturas do ar de admissão e escapamento foram do tipo termopar; sendo os mesmos instalados na entrada do filtro de ar de admissão e na saída do tubo de descarga. Também foi utilizado um sensor para monitoramento da temperatura do óleo do motor, sendo este do tipo termopar.

3.10 Monitoração do gerador

Para efetuar o monitoramento dos parâmetros de tensão, corrente, frequência, potência ativa, reativa e fator de potência foi utilizado um analisador de energia da marca Minipa, (Figura 7), modelo ET5061C. O aparelho foi configurado para trabalhar com o sistema trifásico 3 fios Delta (trifásico + terra). Os dados monitorados com frequência de 1 Hz foram gravados pelo sistema de aquisição de dados e posteriormente transferidos para um computador.



Fonte: Arquivo do pesquisador (2015).

Figura 7: Analisador de energia.

3.11 Aquisição de dados

Para efetuar o monitoramento dos parâmetros operacionais utilizou-se um sistema de aquisição e registro de dados analógicos e digitais de alta resolução da marca Campbell Scientific, modelo CR3000. Os dados gerados pelos sensores de fluxo, PT100 e termopares foram monitorados e armazenados temporariamente no coletor de dados e, posteriormente, estes foram transferidos para um computador para processamento e análises.

3.12 Avaliação de desempenho do conjunto

A avaliação de desempenho do conjunto tomou como base o consumo específico de combustível (CE) e a geração de energia elétrica do conjunto motor gerador.

3.13 Execução dos ensaios

O ensaio iniciava-se após o aquecimento do motor com a mistura a ser testada, onde colocava-se o motor em funcionamento até que a temperatura do óleo do motor atingisse 70 °C, o que durava cerca de dez minutos.

Os ensaios para o diesel e para as misturas ORF10 e ORF50 foram realizados durante o dia, das 10:00 às 17:00 h; já para mistura ORF25, os ensaios foram conduzidos no período noturno, das 17:00 às 00:00 h.

Foram realizadas quatro repetições para cada mistura de combustível nas diferentes cargas, com duração de 20 minutos para cada repetição. Após o encerramento dos ensaios, deixava-se o motor funcionando por dez minutos com óleo diesel puro, para evitar formação de gomas e entupimentos.

Os dados coletados foram usados para traçar os gráficos da potência gerada pelo conjunto; das temperaturas do ar de admissão, escapamento, óleo do motor e alimentação de combustível; da frequência, do consumo horário e do consumo específico de combustível, em função da variação de cargas no conjunto motor gerador.

3.14 Consumo específico de combustível (CEC)

O CEC foi determinado em função da variação da carga do motor gerador operando com o óleo diesel mineral (100% OD) e com as proporções ORF10, ORF25, e ORF50 de óleo residual de fritura. O mesmo foi calculado conforme a equação (3), adaptada de Siqueira (2010).

$$CE = \frac{Chv \times Dc}{PG} \quad (4)$$

Em que:

CE - consumo específico [kg (kW h)^{-1}];

Chv - consumo horário volumétrico (L h^{-1});

Dc - densidade do combustível (kg dm^{-3}); e

PG - potência elétrica gerada no conjunto motor-gerador (kW).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físico-químicas

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de algumas propriedades do combustível utilizado, a saber: densidade, viscosidade e índice de acidez. De acordo com os dados, é possível afirmar que os valores do índice de acidez e da viscosidade cinemática estão acima dos limites máximos estabelecidos em norma para o biodiesel; que são de 0,5 mg NaOH g⁻¹ para o índice de acidez e de 6,0 mm² s⁻¹ para a viscosidade (BRASIL, 2014).

Como a viscosidade das misturas ultrapassou os limites máximos estabelecidos na legislação, os ensaios foram conduzidos, a rigor, sob muita cautela, já que a viscosidade elevada pode provocar perda de potência e desperdício de combustível.

Os valores da densidade do diesel e das misturas a 30 e 50 °C foram interpolados em função da temperatura média do combustível de alimentação para cada mistura de combustível usada. Tendo-se que todas as temperaturas médias de alimentação do combustível foram maiores que 30 °C, os novos valores de densidade foram menor para todas as misturas em relação a densidade a 30°C. Observa-se ainda que a densidade do óleo de soja refinado (OSR) foi superior a todas as misturas, tanto a 30 como a 50°C.

Tabela 3. Valores médios das propriedades físico-químicas do diesel, das misturas de óleo residual de fritura e do óleo de soja refinado (OSR).

| Característica | Unidade | Diesel | ORF10 | ORF25 | ORF50 | OSR |
|-----------------------------------------------|---------------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|
| Índice de acidez | mg NaOH g ⁻¹ | 0,660 | 0,590 | 0,790 | 1,280 | — |
| Viscosidade cinemática (30°C) | mm ² s ⁻¹ | 4,500 | 6,500 | 8,940 | 16,100 | — |
| Densidade (30 °C) | kg dm ⁻³ | 0,825 | 0,848 | 0,861 | 0,883 | 0,918 |
| Densidade (50 °C) | kg dm ⁻³ | — | 0,837 | 0,850 | 0,873 | 0,907 |
| Densidade na temperatura média de alimentação | kg dm ⁻³ | 0,822 | 0,844 | 0,858 | 0,880 | — |
| Temperatura média alimentação | °C | 36,40 | 36,50 | 33,30 | 35,70 | — |

4.2 Frequência média de trabalho do gerador (Hz)

A Tabela 4 apresenta os valores da frequência média de trabalho do gerador. Percebe-se que a frequência foi mantida na faixa de 60 Hz para todas as misturas, mesmo com variações na carga. Destaca-se, que o controle da frequência foi feito manualmente, pois para o pleno funcionamento do conjunto foi necessário manter a frequência na faixa recomendada de 60 Hz.

Tabela 4. Frequência média de trabalho do gerador (Hz).

| Combustível | Cargas aplicadas (kW) | | | | |
|-------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| DI | 59,97 | 60,00 | 59,95 | 60,03 | 60,00 |
| ORF10 | 59,96 | 59,99 | 59,99 | 60,01 | 59,99 |
| ORF25 | 59,99 | 60,08 | 60,04 | 60,01 | 59,92 |
| ORF50 | 59,92 | 59,97 | 60,07 | 60,01 | 60,05 |

4.3 Temperatura do combustível e do ar de admissão

Analisando os dados apresentados na Tabela 5, observa-se que para a variável temperatura do combustível de alimentação, a mistura ORF25 apresentou diferença significativa perante as demais, sobretudo nas cargas de 6, 9, 12 e 15 kW.

Tabela 5. Desdobramento da interação entre os fatores combustível e cargas aplicadas para a variável temperatura do combustível de alimentação (°C).

| Combustível | Cargas aplicadas (kW) | | | | |
|-------------|-----------------------|------------|-----------|------------|------------|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| DI | 33,77 a C | 36,58 ab B | 37,44 a A | 37,47 a A | 36,86 a AB |
| ORF10 | 34,43 a B | 36,89 a A | 37,50 a A | 37,03 a A | 36,67 a A |
| ORF25 | 34,54 a A | 33,78 c A | 32,89 c B | 32,71 c B | 32,60 c B |
| ORF50 | 34,39 a C | 36,06 b BC | 36,60 b A | 36,19 b AB | 35,50 b B |

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Tabela 6 percebe-se que a mistura ORF25 apresentou diferença significativa quanto a temperatura do ar de admissão para todas as cargas aplicadas. Essa diferença apresentada pela mistura ORF25, para a temperatura do combustível e para a temperatura do ar de admissão, se explica pelo fato dos ensaios para essa mistura terem sido realizados no período noturno, sob influência de temperatura ambiente mais amena. Cabe ressaltar, que temperaturas elevadas diminuem a viscosidade da mistura, melhorando a atomização e consequentemente melhoram o desempenho do motor.

Tabela 6. Desdobramento da interação entre os fatores combustível e cargas aplicadas para a variável temperatura do ar de admissão (°C).

| Combustível | Cargas aplicadas (kW) | | | | |
|-------------|-----------------------|------------|------------|-----------|-----------|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| DI | 32,99 a B | 34,89 ab A | 35,12 a A | 34,37 a A | 32,88 a B |
| ORF10 | 33,25 a C | 34,97 a A | 34,52 a AB | 34,12 a B | 33,11 a C |
| ORF25 | 31,70 b A | 30,50 c B | 29,83 c BC | 29,40 c C | 28,60 c D |
| ORF50 | 33,45 a A | 33,96 b A | 33,63 b A | 32,30 b B | 30,71 b C |

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Figura 8 apresenta o comportamento da temperatura do combustível de alimentação e da temperatura do ar de admissão sob efeito da interação entre combustível e carga aplicada.

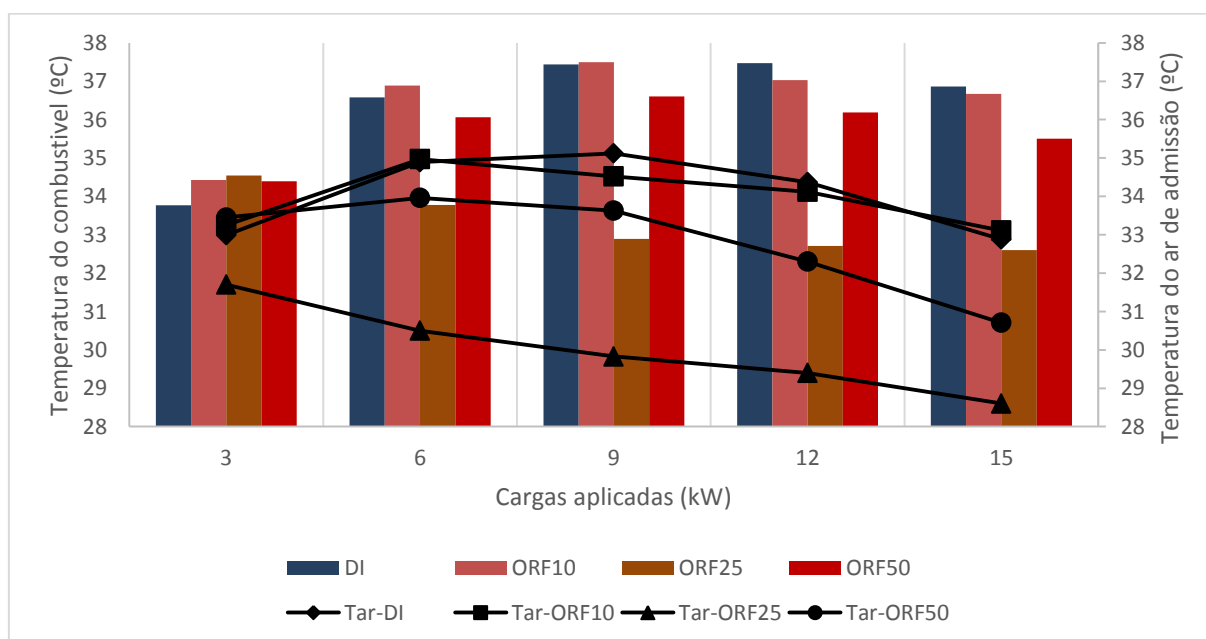


Figura 8: Comportamento da temperatura do combustível de alimentação e temperatura do ar de admissão.

4.4 Potência gerada pelo conjunto

A Tabela 7 apresenta os valores médios de potência gerada para cada carga resistiva. Observa-se que a potência gerada apresentou valores superiores aos da carga em todas as variações de carga aplicadas. A mistura ORF25 foi a que apresentou a menor potência gerada para todas as cargas aplicadas, devido a menor temperatura do combustível na alimentação, o que proporcionou maior viscosidade a essa mistura, fazendo com que a mesma gerasse menor potência.

Tabela 7. Desdobramento da interação entre os fatores combustível e cargas aplicadas para a variável potência gerada pelo conjunto (kW).

| Combustível | Cargas aplicadas (kW) | | | | |
|-------------|-----------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| DI | 3,31 b E | 6,50 a D | 9,60 b C | 12,52 b B | 15,59 c A |
| ORF10 | 3,25 b E | 6,37 b D | 9,47 c C | 12,55 b B | 15,68 b A |
| ORF25 | 3,10 c E | 6,05 c D | 9,10 d C | 12,24 c B | 15,22 d A |
| ORF50 | 3,43 a E | 6,51 a D | 9,71 a C | 12,86 a B | 16,00 a A |

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.5 Temperatura do óleo do motor

De acordo com o gráfico apresentado na Figura 9, percebe-se que a temperatura do óleo do motor aumentou gradativamente com o aumento da carga aplicada ao sistema. O diesel alcançou a maior marca: 88,14°C para a carga de 15 kW. A mistura ORF25 apresentou os menores valores para todas as cargas aplicadas.

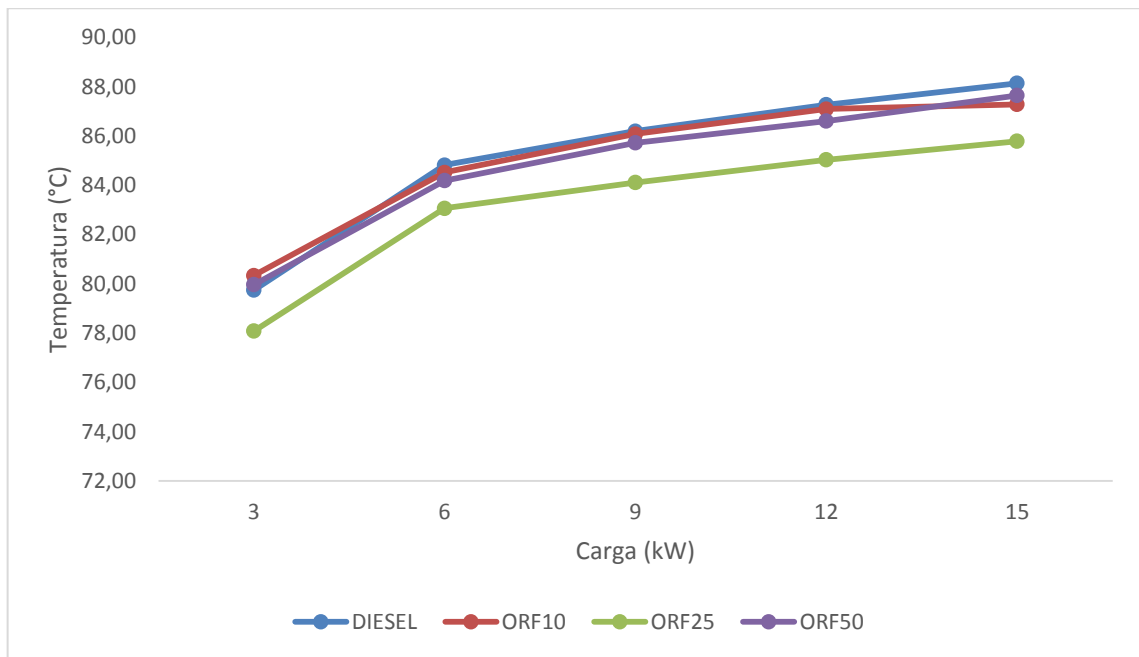


Figura 9: Temperatura do óleo do motor.

4.6 Temperatura dos gases de exaustão

A Figura 10 demonstra o comparativo entre as temperaturas médias dos gases de exaustão para cada um dos ensaios realizados.

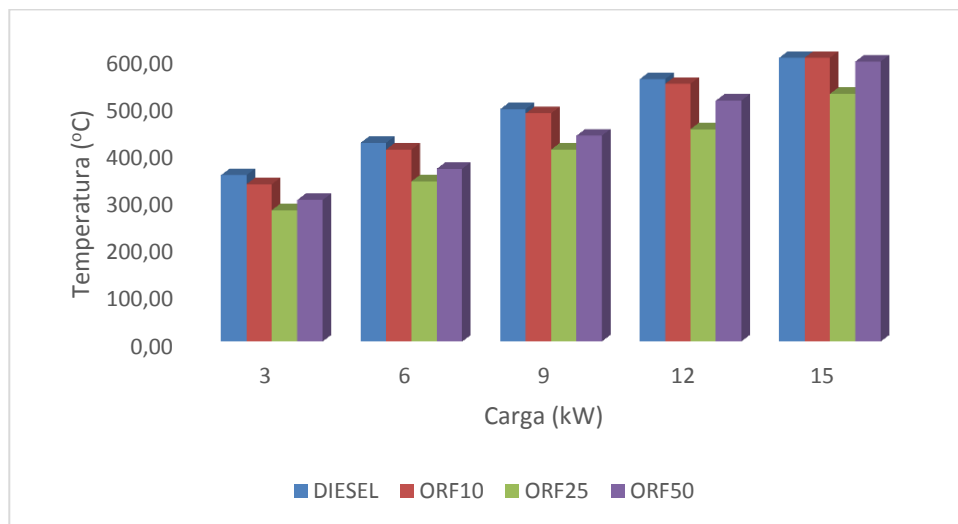


Figura 10. Temperatura dos gases de exaustão do motor em função da carga do gerador nas diferentes proporções de mistura, tendo como base o diesel comercial.

Analisando-se a Figura 10, verifica-se que a temperatura dos gases de exaustão do motor varia proporcionalmente ao aumento da carga no gerador, ou seja, a combustão é maior e conseqüentemente maior é a geração de calor. Ressalta-se que a temperatura dos gases tem como limite superior a resistência das peças à alta temperatura e a qualidade do óleo

lubrificante. Em relação ao diesel de petróleo, todas as misturas de ORF apresentaram valores inferiores para temperatura de escapamento. Dib (2010) corrobora com os resultados aqui apresentados.

4.7 Consumo horário volumétrico (Chv)

Os valores médios de Consumo horário volumétrico (Chv) para as cargas resistivas de 3, 6, 9, 12 e 15 kW estão apresentados na Tabela 8. Percebe-se que com o aumento da carga no gerador ocorre o aumento do consumo de combustível no motor. Tal comportamento concorda com os resultados obtidos por Dib (2010). O diesel foi maior na carga de 3 kW. A mistura ORF10 apresentou o maior Chv para as cargas de 6, 9, 12 e 15 kW, não apresentando diferença significativa para o diesel na carga de 6 kW, bem como para a mistura ORF50 na carga de 15 kW. Em todas as cargas a mistura ORF25 apresentou menor Chv, não diferindo das misturas ORF10 e ORF50 para a carga de 3 kW.

Tabela 8. Desdobramento da interação entre os fatores combustível e cargas aplicadas para a variável consumo horário volumétrico ($L h^{-1}$).

| Combustível | Cargas aplicadas (kW) | | | | |
|-------------|-----------------------|----------|----------|----------|-----------|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| DI | 2,95 a E | 3,66 a D | 4,47 b C | 5,22 b B | 6,07 b A |
| ORF10 | 2,91 b E | 3,67 a D | 4,52 a C | 5,28 a B | 6,10 ab A |
| ORF25 | 2,91 b E | 3,53 c D | 4,28 d C | 5,12 c B | 5,97 c A |
| ORF50 | 2,92 ab E | 3,61 b D | 4,39 c C | 5,22 b B | 6,11 a A |

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.8 Consumo Específico

Os valores médios de consumo específico (CE) para as cargas resistivas de 3, 6, 9, 12 e 15 kW estão apresentados respectivamente na Tabela 9. Para todos os tratamentos, os menores valores de CE foram obtidos com as maiores cargas. Desta forma, o produto da interação combustível x carga aplicada apresentou maior eficiência nas cargas de 12 e 15 kW, devido às ótimas condições operacionais do motor, relativas ao torque e a rotação. Siqueira (2010) e Nietiedt et al. (2011) corroboram com esses resultados. Cabe salientar que se fossem

utilizadas cargas acima de 15 kW, o consumo específico tenderia a aumentar, porque a rotação do motor se aproximaria da rotação máxima.

A mistura ORF25 apresentou o consumo específico máximo: 0,8055 [kg (kW h)⁻¹], para a carga de 3 kW. O fato da mistura ORF25 ter apresentado a menor potência gerada, explica porque o seu consumo específico foi superior ao da mistura ORF50 para carga de 3 kW; pois o consumo específico é calculado dividindo-se o consumo horário mássico pela potência produzida pelo motor.

Tabela 9. Desdobramento da interação entre os fatores combustível e cargas aplicadas para a variável consumo específico [kg (kW h)⁻¹].

| Combustível | Cargas aplicadas (kW) | | | | |
|-------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| DI | 0,7374 c A | 0,4678 c B | 0,3847 b C | 0,3446 b D | 0,3219 b E |
| ORF10 | 0,7551 b A | 0,4861 b B | 0,4032 a C | 0,3555 ab D | 0,3282 ab E |
| ORF25 | 0,8055 a A | 0,5004 a B | 0,4037 a C | 0,3585 a D | 0,3362 a E |
| ORF50 | 0,7498 bc A | 0,4888 ab B | 0,3982 ab C | 0,3569 ab D | 0,3360 a E |

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pela Tabela 9, observa-se que há relação inversamente proporcional entre o consumo específico e a carga resistiva, pois com o aumento da carga de 3 para 6, 9, 12 e 15 kW, o consumo específico para o ORF50, por exemplo, passou respectivamente de 0,7498 para 0,4888, 0,3982, 0,3569 e 0,3360 [kg (kW h)⁻¹]. Essa relação é observada individualmente em cada mistura quando comparadas as diferentes cargas resistivas. Esse comportamento também foi observado por Rigotte (2014).

Na figura 11 observa-se que o CE, para uma mesma mistura, apresentou variações menores a cada acréscimo de carga. Considerando o tratamento DI na Tabela 12, o CE em relação à carga anterior apresentou decréscimo de 17,76% na Carga 9; 10,42% na Carga 12 e 6,59% na Carga 15 kW. Ou seja, com o aumento da carga houve redução gradativamente menor do CE. Observa-se ainda que a diferença entre o CE máximo e o mínimo decresce com o aumento da carga resistiva. A mistura ORF25 figura como a mais distante do tratamento DI, sobretudo nas cargas de 3 e 6 kW. O CE das misturas de ORF tendem a aproximar-se do diesel com o aumento da carga resistiva aplicada.

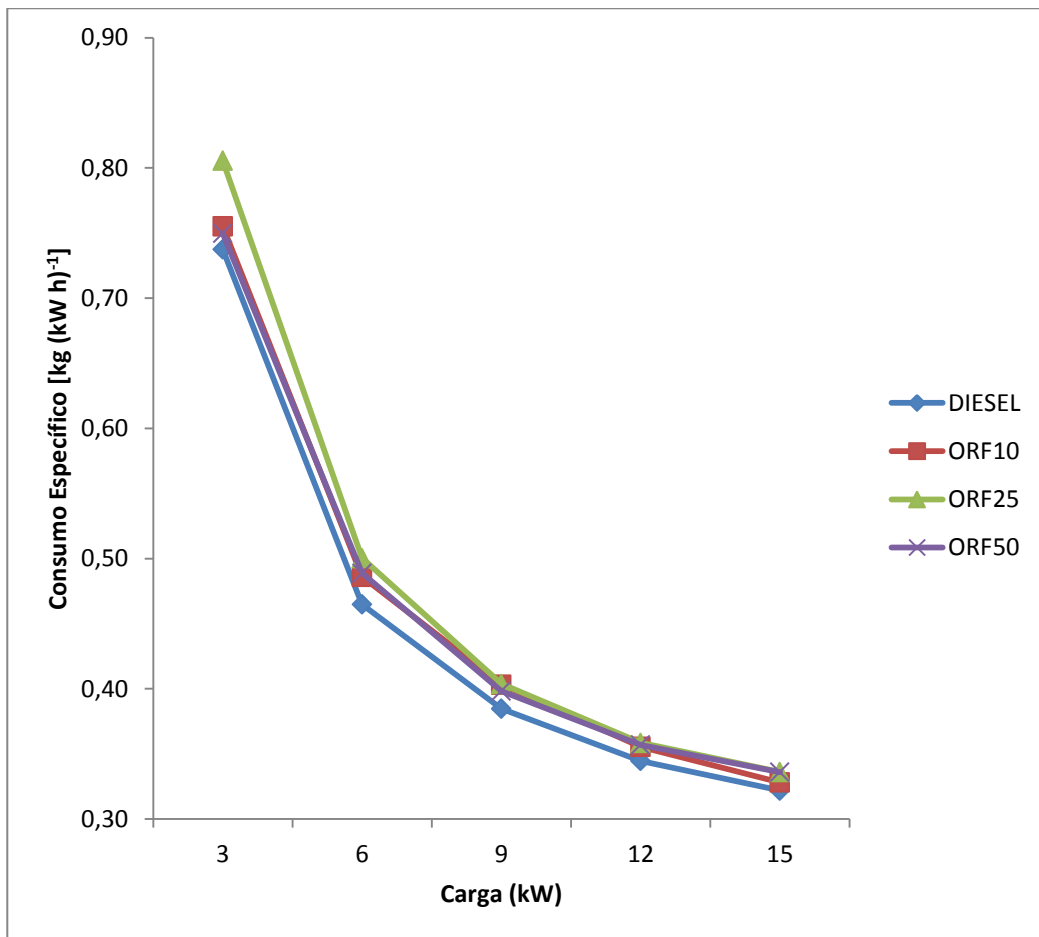


Figura 11. Comportamento do consumo específico para diferentes cargas resistivas.

Observando-se a Tabela 9, constata-se ainda que a mistura ORF10 não apresentou diferença significativa para o diesel nas cargas de 12 e 15 kW, bem como a mistura ORF50, para as cargas de 3, 9 e 12 kW; demonstrando assim o potencial para utilização desse combustível nessas proporções de mistura em substituição ao diesel de petróleo.

5. CONCLUSÕES

- A massa específica das misturas aumentou com o aumento da porcentagem de ORF e diminuiu com o aumento da temperatura;
- A temperatura do óleo do motor se manteve dentro da faixa de trabalho recomendada, indicando que não houve contaminação do óleo lubrificante.
- Todas as misturas de ORF apresentaram valores inferiores para temperatura de escapamento em relação ao diesel mineral.
- A mistura ORF25 foi a que apresentou a menor potência gerada e o CE mais distante do diesel para todas as cargas aplicadas;
- Os menores valores de CE foram obtidos com as maiores cargas, sobretudo nas cargas de 12 e 15 kW.
- Dentre as misturas binárias, a ORF10 apresentou CE semelhante ao do diesel nas cargas de 12 e 15 kW, e a ORF50, nas cargas de 3, 9 e 12 kW; demonstrando que, nessas proporções de mistura, o ORF pode substituir o óleo diesel mineral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aleme, H. G. Determinação de parâmetros físico-químicos do óleo diesel a partir das curvas de destilação utilizando técnicas quimiométricas. Minas Gerais: UFMG, 2011. 149p. Tese de Doutorado.

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. X Seminário de Avaliação do Mercado de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis da ANP. Rio de Janeiro, fev. 2015a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 25fev. 2015a.

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Biocombustíveis. Rio de Janeiro, fev. 2015b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 27fev. 2015b.

ASTM International, 2003. 1087 p. il. ISBN 08-0312-096-6.

Barbosa, G. N.; Pasqualetto, Antônio. In: XXXI Congresso Interamericano Aidis, 10, 2008, Santiago. Artigo... Goiás: UCG, 18p. 2008.

Bosh, Robert. *Automotive Handbook*. Verlag, Germany, 1993. 852p.

Brasil, Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 jan. 2005. Seção 1, p. 8.

Brasil, Portal Brasil. Economia e Emprego. Brasília, mai. 2014. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2014/05/diesel-tera-maior-adicao-de-biodiesel>. Acesso em: 20 mar. 2015.

Brasil, Resolução ANP nº 50 de 23 de Dezembro de 2013. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 dezembro 2013.

Brasil, Resolução ANP nº 45, de 25 de agosto de 2014. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 agosto 2014.

Brunetti, Franco. Motores de combustão interna. v. 1, São Paulo: Blucher, 2012. 480p.

Castellanelli, C. A. Estudo da viabilidade de produção do biodiesel, obtido através do óleo de fritura usado, na cidade de Santa Maria - RS. Santa Maria: UFSM, 2008. 94p. Dissertação Mestrado.

Castellanelli, C. A.; 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, p.145-153, 2008.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. Os impactos da má qualidade do óleo diesel brasileiro. Brasília, 28 p. 2012. Disponível em: <http://www.cnt.org.br>. Acesso em: 15 jan. 2015.

Corrêa, I. M.; Maziero, J. V. G.; Úngaro, M. R.; Bernardi, J. A.; Storino, M. Desempenho de motor diesel com misturas de biodiesel de óleo de girassol. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, p. 923-928, 2008.

Costa Neto, P. R.; Rossi, L. F. S.; Zagonel, G. F.; Ramos, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. *Química Nova*, v.23, p. 531-537, 2000.

Dib, Fernando Henrique. Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um motor-gerador. Ilha Solteira: UNESP, 2010. 114p. Dissertação Mestrado.

Escobar, J.C., E.S. Lora, O.J. Venturini, E. Yanez e E.F. Castillo. Biofuels: environment, technology and food security. *Renew. Sustain. Energ. Rev.* 13, p.1275-1287. 2009.

Fernandes, Adeilton. Análise do desempenho de motor diesel com a utilização de biocombustível obtido a partir do reuso de óleo vegetal. Santa Bárbara d'Oeste: UNIMEP, 2012. 80p. Dissertação Mestrado.

Fernandes, R. K. M.; Pinto, J. M. B.; Medeiros, O. M. de; Pereira, C. de A. Biodiesel a partir de óleo residual de fritura: alternativa energética e desenvolvimento sócio-ambiental. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção-RJ, 2008. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_077_542_12014.pdf>. Acesso em: 15 out. 2015.

Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

Fiorese, D. A.; Dallmeyer, A. U.; Romano, L. N.; Schlosser, J. F.; Machado, P. R. M.. Desempenho de um motor de trator agrícola em bancada dinâmométrica com biodiesel de óleo de frango e misturas binárias com óleo diesel. *Ciência Rural*, v.42, p.660-666, 2012.

Guerra, E.P.; Fuchs, W. Biocombustível renovável: uso de óleo vegetal em motores. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, v.8, p. 103-112, 2010.

Inoue, G. H.; Vieira, L. B.; Santos, G. L.; Fernandes, H. C.; Siqueira, W. da C. Viabilidade da utilização de óleos vegetais em motores diesel. *Engenharia na Agricultura*, v.16, p. 329-336, 2008.

Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, 2008. 1020p.

Kaltner, F. J. Geração de energia elétrica em pequenas comunidades da Amazônia, utilizando óleo vegetal "in natura" de espécies nativas como combustível em motores diesel. SAEX` 2004. Módulo 1-Biomassa. P 9.

Lôbo, I.P.; Ferreira, S.L.C. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, v. 32, p. 1596-1608, 2009.

Maronhas M. E. S.; Fernandes, H. C.; Siqueira, W. da C.; Fernandes, L. S. Utilização de misturas de óleo de soja reutilizado com óleo diesel em um motor estacionário. *Engenharia na agricultura*, v.18, p. 390-397, 2010.

Matsuoka, C. R. Qualidade do óleo de fritura de mandioca: correlação entre dados analíticos e sensoriais para determinação do ponto de descarte. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, 2009. 156p Dissertação Mestrado.

Mazieiro, J.V.G.; Corrêa, I.M. Biocombustível em xeque. Revista Cultivar Máquinas. v. 32, p. 6-9, 2004.

Ministério do Meio Ambiente. CONAMA 20-1986. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Brasília. Resolução n. 20, de 18 de junho de 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>>. Acesso em: 28 fev. 2015.

Moecke, E.H.S., Werner, S.M., Gelsleichter, Y.A., Ávila, A.F.A., Silveira, T.C. Produção de biodiesel a partir do óleo de fritura usado e o empoderamento da comunidade. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v.1, p. 33-40, 2012.

Murta, A.L.S.; Garcia, A. Reaproveitamento de óleo residual de fritura para produção de biodiesel na marinha. In: Simpósio de Pesquisa Operacional da Marinha, 12, 2009, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SPOLM, 2009. CD Rom.

Nietiedt, G. H.; Schlosser, J. F.; Ribas, L. R.; Frantz, U. G.; Russini, A. Desempenho de motor de injeção direta sob misturas de biodiesel metílico de soja. Ciência Rural, v. 41, p.1177-1182, 2011.

Parente, E.J.S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. 1.ed. Fortaleza, Tecbio, 2003, 66 p.

Pimentel, V. S. B. Análise e diagnose de diesel-geradores operando com óleo de dendê “in natura”. Rio de Janeiro: UFRJ, 2002. 145p. Tese Doutorado.

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, v. 17, p. 565–571, 2013.

Rigotte, Marcio Roberto. Desempenho de conjunto motor-gerador utilizando biocombustíveis sob cargas variadas. Cascavel: UNIOESTE, 2014. 57p. Dissertação Mestrado.

Rosa, H. A.; Chaves, L. I.; Secco, D.; Reolon, C. B.; Wazilewski, W. T.; Veloso, G. Avaliação das emissões de Monóxido de carbono (CO) em um motor-gerador ciclo diesel utilizando diesel e biodiesel. Acta Iguazu, v. 1, p. 8-14, 2012.

Santos, M. L. S. Solid fuels combustion and gasification: modeling, simulation, and equipment operation. CRC Press, 2004. 439 p. il. ISBN 08-2470-971-3.

Silva, M. J.; Souza, S. N. M. de; Souza, A. A.; Martins, G. I.; Secco, D.. Motor gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, p. 320–326, 2012.

Siqueira, W.C. Utilização de misturas de óleo diesel e óleo de soja reutilizado em um trator agrícola de pneus. Viçosa: UFV, 2010. 55p. Dissertação Mestrado.

Soranso, Ana M.; Filho, A. G.; Lopes A.; Souza, E. G. de; Dabdoub, M. J.; Furlani, C. E. A.; Camara, F. T. da. Desempenho dinâmico de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado de óleo residual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v. 12, p. 553–559, 2008.

Souza, Carlos Alexandre. Sistemas catalíticos na produção de biodiesel por meio de óleo residual.. In: *Encontro de Energia no Meio Rural*, 6, 2006, Campinas. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200040&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 03 mar. 2015.

Tabile, R. A.; Lopes, A.; Dabdoub, M. J.; Camara, F. T. da; Furlani, C. E. A.; Silva, R. P. da. Biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola. *Eng. Agríc.*, v. 29, p. 412-423, 2009.

Teixeira, C. V. *Análise de Emissões e Desempenho de Motores Diesel Utilizando Óleo Diesel Comercial, Biodiesel de Palma (B100) e Misturas (BX)*. Rio de Janeiro: IME, 2010. 88p. Dissertação Mestrado.

Totten, George E., Westbrook, Steven R., Shah, Rajes J. *Fuels And Lubricant Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing*. ASTM International, 2003. 1087 p. il. ISBN 08-0312-096-6.

Valente, O. S.; *Desempenho e emissões de um motor-gerador de energia elétrica operando com biodiesel*. Belo Horizonte: PUC Minas, 2008. 140p. Dissertação Mestrado.

Volpato, C.E.S.; Conde, A. do P.; Barbosa, J. A.; Salvador, N. Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B100). *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, p. 1125-1130, 2009.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Tabela 10 Valores de F referentes a temperatura de alimentação (TAL), temperatura de admissão (TAD) potência gerada (PG), consumo horário volumétrico (Chv) e consumo específico (CE).

| Fontes de Variação | TAL | TAD | PG | Chv | CE |
|--------------------|----------|----------|-------------|------------|-----------|
| Combustível | 248,55** | 447,36** | 785,21** | 191,48** | 57,05** |
| Carga | 46,30** | 75,63** | 277584,28** | 68531,97** | 9291,87** |
| Comb.xCarga | 22,96** | 15,49** | 25,07** | 19,02** | 9,88** |
| Média Geral | 35,50 | 32,71 | 9452,68 | 4,45 | 0,47 |
| CV (%) | 1,20 | 1,22 | 0,39 | 0,43 | 1,57 |

** : Significativo (P<0,01); * : Significativo (P<0,05); ns: Não Significativo; CV(%): Coeficiente de variação.