

WELLINGTON LUCAS TONDO

EFEITOS DO PRÉ-AQUECIMENTO DE BLENDS DE ÓLEO DE FRITURA E
BIODIESEL COM ÓLEO DIESEL UTILIZADAS COMO COMBUSTÍVEL EM
QUEIMADORES

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2015

WELLINGTON LUCAS TONDO

EFEITOS DO PRÉ-AQUECIMENTO DE BLENDAS DE ÓLEO DE FRITURA E
BIODIESEL COM ÓLEO DIESEL UTILIZADAS COMO COMBUSTÍVEL EM
QUEIMADORES

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Flávio Gurgacz
COORIENTADOR: Prof. Dr. Reginaldo
Ferreira Santos

CASCÁVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

T663e Tondo, Wellington Lucas
Efeitos do pré-aquecimento de blendas de óleo de fritura e biodiesel com
óleo diesel utilizadas como combustível em queimadores./Wellington Lucas
Tondo. Cascavel, 2015.
79 p.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Gurgacz
Coorientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na
Agricultura

1. Biodiesel. 2. Óleo residual de fritura. 3. Óleo diesel. 4. Aquecimento. 5.
Queimadores. I. Gurgacz, Flávio. II. Santos, Reginaldo Ferreira. III.
Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 22.ed. 621.042

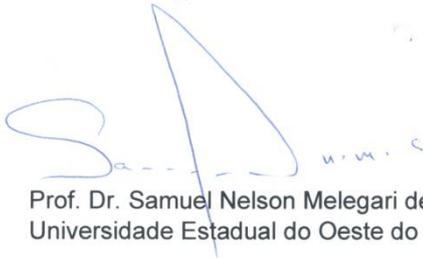
WELLINGTON LUCAS TONDO

**“Efeitos do pré-aquecimento de blendas de óleo de fritura e biodiesel
com óleo diesel utilizado como combustível em queimadores”.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:


Prof. Dr. Flavio Gurgacz
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Vilson Luis Kunz
Universidade Federal do Paraná– UFPR/Palotina

Cascavel, 09 de março de 2015.

“Dedico este trabalho a minha filha Alana, pois no dia que recebi o resultado do exame que comprovava sua existência, surgiu uma vontade em meu pensamento firme de buscar conhecimento no segmento de Fontes Renováveis de Energia e, a UNIOESTE estava aqui pertinho e o Mestrado também. O resto foi trabalho”.

AGRADECIMENTOS

Á Deus pela força positiva para superar os desafios;

Á minha esposa Luci por estar ao meu lado ajudando e a minha filha Alana por existir;

Aos meus pais por me presentear com a vida e me mostrarem o caminho da vitória;

Aos restantes familiares que de alguma forma me apoiaram e me desejaram o sucesso;

Ao professor orientador Dr. Flávio Gurgacz, por me auxiliar na conduta desse trabalho e pelo conhecimento transmitido durante a realização do mesmo;

Ao professor Co-orientador Dr. Reginaldo Ferreira Santos, que inicialmente era o orientador e mostrou vários caminhos a serem seguidos em um curso de mestrado;

Ao professor Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira, por sempre nos incentivar e também indicar vários caminhos a serem seguidos no decorrer do curso;

Ao restante da equipe de professores do curso de Pós-graduação *Strictu Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura da UNIOESTE que nos ensinaram e auxiliaram transmitindo informações;

Ao colega de turma Cássio Duminelli;

Aos colegas das turmas 2013/2014 que nos diálogos de cada intervalo contribuíram para enriquecer meu conhecimento;

Á alguns funcionários da UNIOESTE, como a secretária Vanderléia, por sempre estar nos lembrando das datas e compromissos do programa, e em especial, ao Seu Dário, pelo auxílio em alguns trabalhos;

A todos que contribuíram de alguma forma na realização dos projetos.

*“Há uma força mais poderosa que o vapor,
eletricidade e a energia atômica: a vontade.*

Albert Einstein

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ANP – Agência Nacional do Petróleo
Bxx (0-100) – Biodiesel 0 -100 %
C - Carbono
CH₄ – Metano
CE – Consumo específico
Chv – Consumo horário volumétrico
Chvc – Consumo horário volumétrico corrigido
Cvt – Consumo volumétrico térmico
CO – Monóxido de carbono
CO₂ – Dióxido de carbono
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
ELV – Embalagem Longa Vida
ELS – Poliestireno Expandido
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Et – Eficiência térmica
FECO – Ferro Constantan
GEE – Gases de Efeito Estufa
H₂O – Água
HC - Hidrocarbonetos
HP – *Horse Power*
IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná
IEA – *International Energy Agency*
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KJ – Kilo-Joules
MJ – Mega Joule
MP – Material particulado
HPA – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
Hz - Hertz
N₂ – Nitrogênio
NBB – *National Biodiesel Board*
NO_x – Óxido de Nitrogênio
O₂ – Oxigênio
OD – Óleo diesel
OF – Óleo fritura
PCI – Poder calorífico inferior
PCS – Poder calorífico superior
ppm – Partes por milhão
Psi – Libras por polegada
RTD – *Resistance Temperature Detector*
S (50-500) – Enxofre (50-500 ppm)
SO₂ – Dióxido de Enxofre
SO_x – Óxidos de enxofre
tep – toneladas equivalentes de petróleo
UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
V - Volts
Vcc – Tensão contínua
W – Watt
° C – Graus Celsius

λ = Taxa estequiométrica

ΔH = Energia Liberada

ΔT – Ganho de temperatura

Ω – Ohm

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Custos de diferentes sistemas de aquecimento de piscinas	05
Figura 2. Fluxograma de cadeias produtivas para produção de biodiesel	08
Figura 3. Reação de transesterificação	09
Figura 4. Matérias-primas usadas na produção de biodiesel no Brasil	09
Figura 5. Alteração percentual nas emissões de gases utilizando biodiesel.....	21
Figura 6. Esquema simplificado de sistema de aquecimento de piscinas.....	22
Figura 7. Diagrama de blocos do sistema de aquecimento.....	23
Figura 8. Sistema de aquecimento e monitoramento instalado	24
Figura 9. Descrição do funcionamento do fluxômetro.....	25
Figura 10. Circuito Elétrico do Sensor PT 100 com 3 fios	26
Figura 11. Sistema de aquecimento dos combustíveis	30
Figura 12. Chv de blendas de OD e OF, com e sem pré-aquecimento	42
Figura 13. Chv de blendas de OD e Bxx, com e sem pré-aquecimento.....	43
Figura 14. Ganho de temperatura na caldeira.....	44
Figura 15. Consumo volumétrico térmico.....	45
Figura 16. Consumo Específico para os diferentes tratamentos	47
Figura 17. Percentual de CO ₂ e O ₂ para as blendas OD e OF sem aquecimento	48
Figura 18. Percentual de CO ₂ e O ₂ para as blendas OD e OF com aquecimento	49
Figura 19. Percentual de CO ₂ e O ₂ para as blendas OD e Bxx sem aquecimento	49

Figura 20. Percentual de CO₂ e O₂ para as blendas de OD e Bxx com aquecimento	49
Figura 21. Temperatura de Escape	50
Figura 22. Eficiência térmica das misturas com e sem aquecimento.....	51
Figura 23. Comparativo CE x Et nas blendas de OD e Bxx sem aquecimento	53
Figura 24. Comparativo CE x Et nas blendas de OD e Bxx com aquecimento	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produtos de destilação fracionada de petróleo	06
Tabela 2. Distribuição de Biodiesel no Brasil	10
Tabela 3. Características físico-químicas de óleos vegetais.....	11
Tabela 4. Características físico-químicas de biodiesel	11
Tabela 5. Relação da mistura ar/combustível	14
Tabela 6. Ações e economias estimadas	19
Tabela 7. Percentuais utilizados nas misturas de OD e OF.....	24
Tabela 8. Percentuais utilizados nas blends de OD e Bxx.....	24
Tabela 9. Propriedades físico-químicas	30
Tabela 10. Percentual de óleo, água e impurezas do óleo bruto	39
Tabela 11. Propriedades físico-químicas médias para cada tratamento.....	40
Tabela 12. Comparativo entre médias de tratamentos utilizando fatorial	46

TONDO, Wellington Lucas, M.Sc. UNIOESTE, março de 2015. **Efeitos do pré-aquecimento de blendas de óleo de fritura e biodiesel com óleo diesel utilizadas como combustível em queimadores.** Professor Orientador: Dr. Flávio Gurgacz. Professor Co-orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos.

RESUMO

O grande consumo de combustíveis fósseis que ainda hoje predomina na oferta de energia mundial é um dos grandes vilões nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), que são os grandes responsáveis pelo aquecimento global. As reservas de petróleo tendem ao esgotamento, e com a crescente demanda de energia necessária para suprir os avanços tecnológicos, a busca por soluções para minimizar as emissões de poluentes e o aproveitamento de resíduos, descartados de forma indevida pelo homem, tornou-se uma oportunidade de agregar valores e produzir energia a partir de matérias-primas, que causam grandes impactos ambientais. O biodiesel de óleo residual de fritura tem se mostrado como alternativa eficaz na produção de energia renovável, pois além de possuir alto potencial energético, gera subprodutos que podem ser incorporados no processamento da matéria-prima, agregando valor final. Este trabalho buscou avaliar a utilização de blendas de óleo diesel com óleo e biodiesel de resíduos de fritura, em proporções fixas e variadas em 10% para cada tratamento, sendo B0 a ausência de biodiesel e B100, sua totalidade, como alternativa de combustível renovável em queimadores para aquecimento de piscinas. A condução do experimento ocorreu na piscina térmica do bloco de fisioterapia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), durante o mês de agosto de 2014, no *campus* de Cascavel, utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado. Os combustíveis foram avaliados quanto ao seu comportamento à temperatura ambiente e passando por um processo de aquecimento, que em média foi de 50,63 °C, antes da combustão no queimador. Foram avaliados dados de: percentual de água e impurezas, viscosidade, densidade, poder calorífico, emissão de gases CO₂, O₂, e a temperatura de escape nas blendas produzidas. Também foram coletadas informações da temperatura de entrada e saída da caldeira, vazão de água, fluxo e temperatura do combustível, para determinação do consumo específico e eficiência. Verificou-se uma redução na eficiência térmica do sistema, à medida que aumentou o percentual de biodiesel contido nas misturas, operando na temperatura ambiente. Porém, com o pré-aquecimento, obteve-se uma melhora significativa.

PALAVRAS-CHAVE: Óleo residual de fritura, biodiesel, óleo diesel, aquecimento, queimadores.

TONDO, Wellington Lucas, M.Sc. UNIOESTE, August 2014. **Effects of preheating blends evaluation of frying oil and biodiesel with diesel oil used as fuel in burners.** Teacher Coordinating: Dr. Flávio Gurgacz. Teacher Co-coordinating: Dr. Reginaldo Ferreira Santos.

ABSTRACT

The large consumption of fossil fuels that still today predominates the world's energy supply is one of the great villains in greenhouse gases emissions (GHG), that are largely responsible for global warming. The oil reserves tend to depletion, and the growing demand of energy needed to feed the technological advances, the search for solutions to minimize emissions of pollutants and waste recovery, discarded improperly by man, became an opportunity to add value and produce energy from raw materials, that cause major environmental impacts. The biodiesel from waste frying oil has been shown to be effective alternative in renewable energy production, as well as having large potential energy, generates by-products that may be incorporated in the processing of raw materials, adding final value. This work evaluated the use of blends of diesel oil with oil and biodiesel from waste frying, in fixed and varying proportions of 10% for each treatment, B0 being the absence of biodiesel and B100 being entirely, as an alternative renewable fuel in burners for heating of pools. The conduct of the experiment occurred in the thermal pool block physiotherapy State University of Western Paraná (UNIOESTE), during the month of August 2014, in the Cascavel campus, using entirely randomized design. The fuels were evaluated for their behavior at room temperature and passing through a heating process, which on average was 50,63 °C, before to combustion in the burner. We evaluated data: percentage of water and impurities, viscosity, density, calorific value, emission of CO₂, O₂, and the exhaust temperature in the produced blends. Were also collected input and output temperature information in the boiler, flow water, flow and fuel temperature, to determine the specific consumption and efficiency. There was a reduction in thermal efficiency of the system, as increased the percentage of biodiesel contained in mixtures, operating at room temperature. However, with the pre-heating, we obtained a significant improvement.

KEYWORDS: Residual frying oil, biodiesel, diesel oil, heating, burners.

SUMÁRIO

LISTA SIGLAS E SÍMBOLOS
LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS
RESUMO
ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	01
1.1 OBJETIVO GERAL.....	03
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	03
2.REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1 SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE PISCINAS	04
2.2 COMBUSTÍVEIS	05
2.2.1 Óleo diesel	05
2.2.2 Os óleos vegetais <i>in natura</i> e de fritura	06
2.2.3 Biodiesel	08
2.2.3.1 Produção de biodiesel do Brasil.....	09
2.2.3.2 Produção de biodiesel de óleo vegetal residual.....	10
2.2.4 Características físico-químicas de óleos vegetais e biodiesel	11
2.2.5 Blendas de óleo diesel com óleo e biodiesel de óleo vegetal	12
2.2.6 Efeitos do pré-aquecimento de combustíveis	12
2.3 COMBUSTÃO.....	13
2.4 QUEIMADORES A ÓLEO DIESEL.....	15
2.5 CALDEIRAS	17
2.6 EMISSÕES PRODUZIDAS PELA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS	19

3. MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO	22
3.2 FLUXÔMETRO SPARLING OVAL M – III, MODELO LSF41L	25
3.3 SENSOR DE TEMPERATURA PT 100 – TIPO HASTE DE 3 FIOS.....	25
3.4 SENSOR DE TEMPERATURA TERMOPAR – TIPO J	27
3.5 DATA LOGGER NOVUS – MODELO FIELD LOGGER.....	27
3.6 MANÔMETRO	27
3.7 QUEIMADOR HOFAMAT – MODELO ICA-D 125	27
3.8 OBTENÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS	28
3.9 AQUECIMENTO E CONTROLE DE TEMPERATURA DAS BLENDS	29
3.10 PARÂMETROS AVALIADOS NOS COMBUSTÍVEIS	30
3.10.1 Percentual de óleo filtrado e desumidificado	31
3.10.2 Densidade específica a 20 °C	32
3.10.3 Viscosidade Cinemática a 40 °C	32
3.10.4 Poder calorífico inferior	33
3.10.5 Consumo horário volumétrico	34
3.10.6 Ganho de temperatura na caldeira.....	34
3.10.7 Consumo volumétrico térmico.....	35
3.10.8 Consumo específico	35
3.10.9 Eficiência térmica	36
3.10.10 Emissão de gases	36
3.10.11 Análise estatística	37

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 UTILIZAÇÃO E AJUSTES DO QUEIMADOR	38
4.2 PERCENTUAL DE ÓLEO FILTRADO E DESUMIDIFICADO	38
4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS COMBUSTÍVEIS	39
4.4 CONSUMO HORÁRIO VOLUMÉTRICO	42
4.5 GANHO DE TEMPERATURA	44
4.6 CONSUMO VOLUMÉTRICO TÉRMICO	45
4.7 CONSUMO ESPECÍFICO	46
4.8 EMISSÃO DE GASES	48
4.8.1 Emissão de CO₂ e O₂.....	48
4.8.2 Temperatura de escape	50
4.9 EFICIÊNCIA TÉRMICA	51
5. CONCLUSÕES	54
6. PERSPECTIVAS E SUGESTÕES	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1. INTRODUÇÃO

“A moeda indivisível sobre a qual se baseia toda a ciência é a energia”, observou Frederick Soddy, britânico ganhador do prêmio Nobel em química de 1921, por suas grandes contribuições sobre substâncias radioativas. Segundo Odum (1971), a cada dia, os raios do sol banham a Terra com milhares de quilocalorias de energia por metro quadrado, sendo parte dessa energia captada por seres vivos e convertida de modo a servir à sustentação da vida, enquanto o restante acaba sendo convertido em calor e irradiado de volta ao espaço.

Se a energia é o centro de toda a existência, então a força é a velocidade do fluxo de energia útil, ainda segundo Odum (1971). Tudo na vida requer energia e força suficiente para manter a velocidade do fluxo. O elemento decisivo em todas as sociedades da história é a disponibilidade de excedentes de energia. Para White (1959), existem três fatores críticos na avaliação do progresso de qualquer cultura: “a quantidade de energia *per capita* processada por ano”, a “eficiência dos meios tecnológicos pelos quais a energia é processada e posta em ação” e a “quantidade de bens e serviços produzida para atender alguma necessidade”.

Em 1900, o inventor alemão Rudolph Diesel levou à exposição internacional de Paris um motor com um novo sistema de funcionamento, movido á óleo de amendoim que foi chamado de motor “ciclo diesel”. Nas primeiras décadas do século XX, foram testados óleos de várias outras espécies vegetais, os quais tiveram como principal empecilho para utilização em larga escala o alto custo de produção de sementes. A abundância do petróleo e o baixo custo para refino de seu óleo fez com que óleos vegetais fossem substituídos pelo óleo refinado de petróleo. Além de sua grande disponibilidade, a alta densidade energética do petróleo colaborou para torná-lo a matéria-prima mais conveniente para combustíveis utilizados no setor de transporte, agricultura e indústria (SILVA; FREITAS, 2008).

Conforme PETROBRÁS (2013), o óleo diesel é o principal combustível comercializado no mercado Brasileiro, utilizado no transporte de cargas e de passageiros, em embarcações, na indústria, na geração de energia elétrica, nas máquinas para construção civil, nas máquinas agrícolas e locomotivas. O

consumo de óleo diesel utilizado nos transportes correspondeu a 46,4% em 2013, tendo um aumento de 1189 mil toneladas equivalentes de petróleo (tep) em 2012 para 1307 mil tep em 2013, que corresponde a 9,92 %, sendo que o petróleo e derivados correspondem a 39,3 % da oferta interna de energia no Brasil, que é a energia demandada total no país (BEN, 2014 – ano base 2013). O gás natural, o carvão mineral e o urânio representaram respectivamente, 12,8, 5,6 e 1,3 do percentual da oferta, totalizando 59% oriundos de fontes não renováveis.

Entretanto, os combustíveis fósseis são grandes poluidores do ambiente, tanto pela emissão de gases de efeito estufa durante a combustão, quanto pelo descarte de resíduos e derramamentos que eventualmente ocorrem no mar e no solo, segundo a ANP (2012). Considerando também que tendem ao esgotamento, os biocombustíveis passaram a ter notória participação no mercado energético mundial. Ainda segundo ANP (2012), os dois principais biocombustíveis líquidos usados no Brasil são o etanol extraído de cana-de-açúcar e, em escala crescente, o biodiesel, que é produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais e adicionado ao diesel derivado do petróleo em proporções variáveis, podendo substituir, parcial ou totalmente, os combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores à combustão ou em outro tipo de geração de energia.

Após a implantação pelo governo brasileiro na década de 70 do programa Pró-Álcool, como estratégia para reduzir o consumo de gasolina, o país tornou-se referência mundial no uso de fontes renováveis de energia. Segundo ANP (2012), 45% da energia total e 18% dos combustíveis são obtidos através de fontes renováveis no Brasil, enquanto que a nível mundial, 87% do consumo energético é oriundo de fontes não-renováveis. Devido à redução na oferta interna de biomassa de cana e hidreletricidade, a participação das renováveis em 2013 (BEN, 2014) foi de 42,4%, significativamente acima da média mundial de 13,2%. A adoção do etanol é considerada um dos principais mecanismos de combate ao aquecimento global, pois reduz as emissões de gás carbônico (CO₂) e ainda, parte do CO₂ é reabsorvida pelas plantações de cana-de-açúcar.

Conforme PETROBRÁS (2013), o biodiesel é um combustível biodegradável derivado de óleos vegetais e gorduras animais, sendo estes

renováveis. Pode ser produzido a partir de diferentes espécies oleaginosas, como a mamona, dendê, amendoim, soja entre outras matérias-primas de origem vegetal, e também de sebo bovino e gordura suína, de origem animal. Conforme Garret e Grisham (2008), a oxidação completa de 1 g de triglicerídeos fornecem cerca de 38 kJ de energia, enquanto as proteínas e carboidratos fornecem somente cerca de 17 kJ/g.

Segundo Parente (2003), o óleo residual de fritura resultante de processamentos domésticos, comerciais e industriais tem grande potencial energético e pode ser utilizado como matéria-prima para produção de energia sustentável. A minimização dos impactos ambientais e a possibilidade de aproveitamento de matérias-primas recicladas favorecem o cenário Brasileiro a políticas de incentivo e implantação de sistemas de coleta desse material residual, ocasionando efeitos mitigadores na emissão de poluentes.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar as características e o desempenho de blendas de óleo residual de fritura e biodiesel gerado dessa matéria-prima com óleo diesel, com e sem pré-aquecimento dos combustíveis, em um queimador para aquecimento de piscinas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o percentual de água e impurezas presentes no óleo de fritura coletado;
- Avaliar as propriedades físico-químicas das misturas de óleo de fritura filtrado e desumidificado e biodiesel, com óleo diesel;
- Comparar o consumo volumétrico e específico das misturas aplicadas em um queimador a óleo diesel, com e sem pré-aquecimento;
- Comparar a eficiência térmica das blendas nos sistemas com e sem pré-aquecimento;
- Avaliar a emissão de gases das blendas nos sistemas com e sem pré-aquecimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE PISCINAS

Conforme Almanza e Lara (1994), para obter uma eficiência energética satisfatória em aquecimentos de piscinas, os parâmetros meteorológicos são de grande relevância. Os sistemas de aquecimento de piscinas não somente são utilizados em clubes e academias, mas também em casas e condomínios residenciais. Conforme Lund (2000), a temperatura desejada para a água de uma piscina está na faixa de 24 a 29 °C, e a demanda por energia para manter o conforto térmico tende ao crescimento, principalmente na região Sul do Brasil, onde o clima é sub-tropical, com incidência de geadas, podendo em casos extremos, nevar em algumas cidades e possui uma temperatura média que varia de 14 a 22 °C anualmente (KERDNA, 2014).

O aquecimento da água em piscinas térmicas pode ser feito utilizando diversos combustíveis, dentre eles: a lenha e carvão, provenientes da biomassa, solar, a gás, elétrico, trocador de calor e utilizando combustíveis líquidos, como gasolina e óleo diesel e consiste no fluxo de água por uma caldeira com a utilização de moto bomba, ocorrendo à troca de calor da água fria, que passa em tubulações susceptíveis à troca de calor e retornando aquecida. Vários fatores de troca de calor influenciam esses sistemas, como o volume de água da piscina, o ambiente (coberto ou ao ar livre), dimensão e eficiência da caldeira, perda de calor nas tubulações, modelo e potência do queimador, entre outros. Para Kerdna (2014), a utilização de capas térmicas é de grande importância para redução de perdas de calor, que ocorre pelo contato da água com a superfície pela evaporação, radiação e pelo contato com as paredes da piscina. Conforme o mesmo autor, os custos para implantação dos diferentes sistemas de aquecimento são apresentados na figura 1.

Conforme Maluf e Prado (2010), além das variantes citadas, as variáveis com influência no balanço energético são: temperatura do teto, temperatura de referência da água da piscina, temperatura do ar no ambiente da piscina, velocidade do ar no ambiente da piscina, umidade relativa do ar no ambiente da piscina, vazão de água no sistema de aquecimento, temperatura

da água na entrada e na saída.

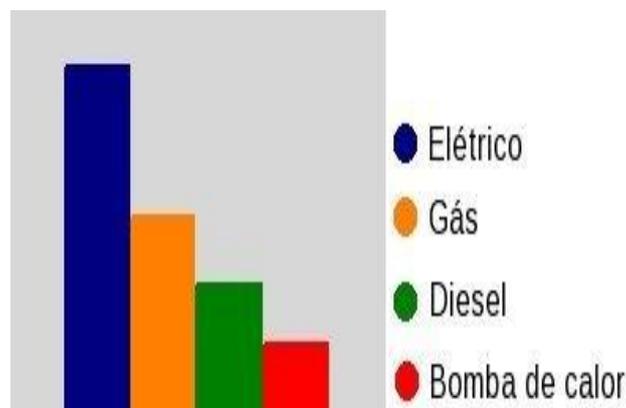


Figura 1 – Custos de diferentes sistemas de aquecimento de piscinas (Fonte: Kerdna, 2014).

2.2 COMBUSTÍVEIS

2.2.1 Óleo diesel

O diesel é um combustível derivado do petróleo constituído predominantemente por hidrocarbonetos alifáticos contendo de 9 a 28 átomos de carbono na cadeia. No processo de produção, o diesel é destilado em temperaturas na faixa de 210 a 410 °C, enquanto que a gasolina destila na faixa de 80 a 120 °C. O diesel contém ainda outros compostos que porventura destilam na mesma faixa de temperatura, tais como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e seus derivados alquílicos (BRAUN *et al.*, 2003). O petróleo é obtido segundo Abusiaux (1983) através da destilação, e é uma substância oleosa, inflamável, que possui densidade menor que a água, com cheiro característico e coloração que pode variar entre o negro e o castanho escuro, composta por hidrocarbonetos alifáticos, cíclicos e aromáticos, podendo conter também em menor quantidade nitrogênio, oxigênio, compostos de enxofre e íons metálicos. O petróleo ainda segundo Abusiaux (1983) é a principal fonte de energia utilizada pelo homem no planeta. Do petróleo obtêm-se outros produtos, entre eles: gasolina, benzina, alcatrão, polímeros plásticos e até mesmo medicamentos. Do processo de destilação fracionada do petróleo, se obtém os produtos citados na tabela 1.

Tabela 1 – Produtos de destilação fracionada de petróleo (Fonte: PETROBRÁS, 2013)

Ponto de ebulição em °C	Quantidade de Carbonos	Produto
20°C	1-4	Gás
120°C	5-10	Gasolina
170°C	10-16	Querosene
270°C	14-20	Diesel
340°C	20-50	Lubrificante
500°C	20-70	Óleo
600°C	>70	Asfalto

2.2.2 Os óleos vegetais *in natura* e resíduo de fritura

“O motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais, e ajudará no desenvolvimento agrário dos países que vierem a utilizá-lo. O uso de óleo vegetal como combustível pode parecer insignificante hoje em dia. Mas com o tempo, irá se tornar tão importante quanto o petróleo e o carvão são atualmente”, já afirmava Rudolf Diesel, no início do século XX, conforme Portal do Biodiesel (2012).

Conforme Meher *et al* (2006), os óleos vegetais possuem propriedades compatíveis no uso como combustível, porém ocorrem alguns problemas associados ao seu uso direto em motores do ciclo Diesel, como por exemplo: ocorrência de excesso de depósitos de carbono no motor, obstrução nos filtros de óleo e bicos injetores, diluição parcial do combustível no lubrificante, diminuição da durabilidade do motor e maiores gastos com manutenção (KUCEK, 2004).

Conforme Hocevar (2005), cada litro de óleo despejado no esgoto urbano tem potencial para poluir cerca de um milhão de litros de água, o que equivale à quantidade que uma pessoa consome ao longo de 14 anos de vida. O custo do tratamento da água pela população é acrescido em 45% e o contato da água poluída pelo óleo ao desembocar no mar gera uma reação química que libera metano (CH₄), que é um gás incolor, inodoro e muito inflamável,

cerca de 20 vezes mais poluente que o CO₂ e 60 % da emissão desse gás é resultado da ação humana (GRUNKRAUT, 2008).

Além de ser altamente poluente, o óleo residual de fritura diminui a área de contato entre a superfície dos rios e o ar atmosférico, impedindo a transferência do oxigênio. Portanto, o processo de decomposição de óleos e graxas ocasiona a redução do oxigênio dissolvido elevando a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), que é a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado tempo, em uma temperatura de incubação específica. O baixo teor de oxigênio nas águas dos rios é fatal para a vida e quando despejamos óleo no ralo da pia, somos os culpados pela grande redução da biodiversidade nos ecossistemas aquáticos (CHRISTOFF, 2007).

Os óleos residuais de frituras possuem grande potencial de oferta. Conforme Silva *et al* (2005), um levantamento primário da oferta de óleo residual de fritura susceptível a ser coletado, supõe um potencial de oferta no país superior a 30 mil toneladas por ano. Algumas possíveis fontes de óleos e gorduras residuais são: lanchonetes e cozinhas industriais, esgotos municipais utilizando a nata sobrenadante que é rica em material graxo, água residual de processos de indústrias alimentícias.

Segundo Costa Neto *et al* (1996), o processo de fritura ocasiona mudanças químicas e físicas ao óleo, ocasionando perdas nutricionais do mesmo. Na fritura, o óleo fica em maior contato com a água e o ar, iniciando um processo de degradação e o contato com o ar e presença de partículas de restos de alimentos em decomposição o óleo é oxidado, e em contato com a água sofre a hidrólise dos seus triglicerídeos, aumentando a viscosidade do óleo e o índice de acidez, devido à formação de ácidos graxos livres (BILLEK *et al.*, 1985). Para o mesmo autor, observa-se um aumento do calor específico, diminuição do número de iodo, mudanças na tensão superficial e no aspecto superficial.

No processo de aquecimento do óleo vegetal e derivados ocorre a emissão de acroleína, composto presente na derivação da desidratação do glicerol, que é grande causador de intoxicação pulmonar e exacerbação da asma em crianças (GRABOSKI; McCORMICK, 1998).

2.2.3 Biodiesel

Segundo Age e Donnini (2006), biodiesel é a denominação genérica dada a combustíveis produzidos através de fontes renováveis que pode ser utilizado em qualquer motor a óleo diesel sem alterações na parte mecânica, perda de potência e rendimento. Assim como existem motores “*Flex Fuel*” que operam a gasolina e etanol, os motores diesel podem usar óleo diesel e biodiesel, ou misturas dos 2 combustíveis em qualquer proporção. A figura 2 apresenta um fluxograma de cadeias produtivas para produção de biodiesel.

Conforme Ferrari *et al* (2005), através da reação de transesterificação de óleo vegetal de plantas oleaginosas, com etanol ou metanol na presença de um catalisador, resolve grande parte desses problemas, melhorando a qualidade de ignição, o ponto de fluidez e as propriedades de fluxo (viscosidade e densidade específica).

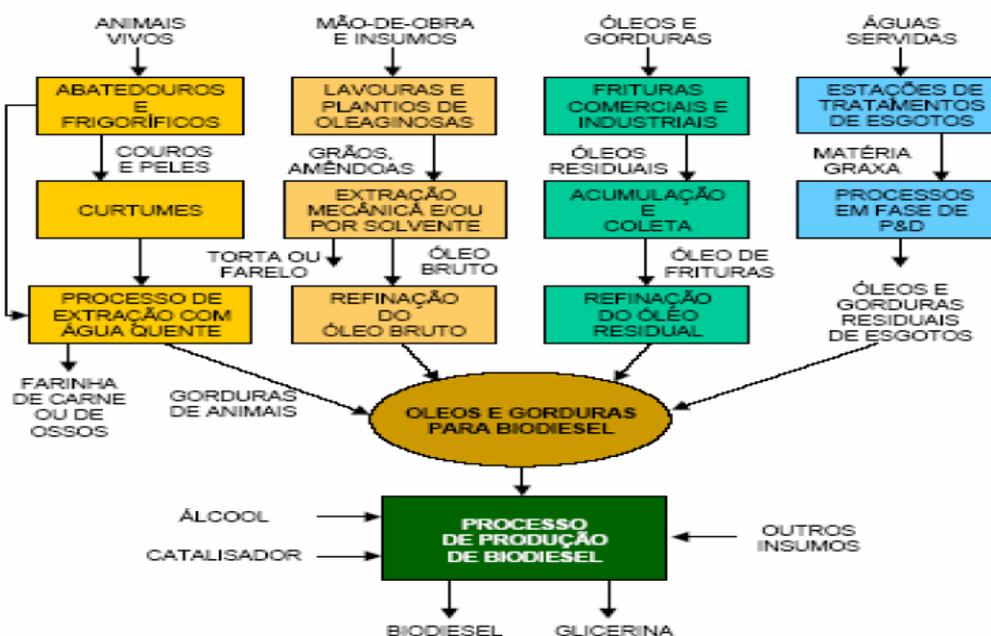


Figura 2 – Fluxograma de cadeias produtivas para produção de biodiesel (Fonte: Costa e Oliveira, 2006)

O produto gerado tem compatibilidade de uso com o diesel convencional e apresenta algumas vantagens, dentre elas um alto poder de lubrificação e menor emissão de gases, reduzindo o impacto ambiental. A reação de transesterificação é mostrada na figura 3.

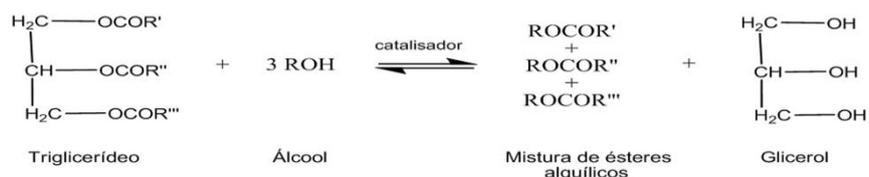


Figura 3 – Reação de Transesterificação (Fonte: LASAPE, 2014)

Segundo Ramos *et. al* (2006), além da transesterificação que é o método mais conhecido e utilizado em larga escala para produzir biodiesel, existem outros três: Diluição, micro-emulsificação e pirólise.

O biodiesel possui uma viscosidade maior que do óleo diesel, o que segundo Lôbo e Ferreira (2009), prejudica a atomização e como consequência altera a relação de ar/combustível, ocasionando deposições de resíduos nas partes internas do motor. Os autores também afirmam que, possui ponto de fluidez, de entupimento de filtro a frio, de névoa e de solidificação a temperaturas maiores que o óleo diesel, necessitando de ajustes no motor.

2.2.3.1 Produção de biodiesel no Brasil

Atualmente, conforme o Soares e Pinto (2014), as matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel são apresentadas na figura 4 e a distribuição de biodiesel é apresentada na tabela 2.

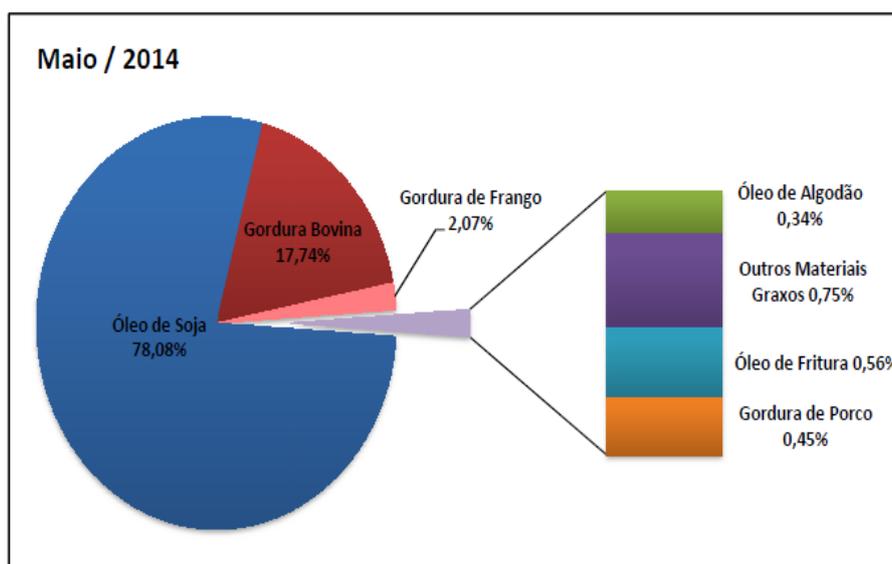


Figura 4 – Matérias-primas usadas na produção de biodiesel no Brasil (Fonte: Soares e Pinto, 2014)

Tabela 2 - Distribuição do biodiesel no Brasil (Soares e Pinto, 2014).

Região	Capacidade autorizada (m ³)	Produção mensal de biodiesel (m ³)	Demanda B100 (m ³)
Centro-Oeste	307.688	122.908	31.684
Nordeste	37.954	15.570	42.002
Norte	16.200	4.077	25.500
Sudeste	76.982	11.002	107.817
Sul	219.010	88.969	48.183
Total	657.834	242.526	255.185

2.2.3.2 Produção de biodiesel de óleo vegetal residual

A reutilização de óleos e gorduras residuais (OGR) de processos de fritura tem apresentado resultados favoráveis na produção de biodiesel, conforme Almeida *et al.* (2000). Conforme EMBRAPA (2003), os benefícios da reciclagem do óleo de fritura são:

- Energético: não há gasto adicional de energia para a produção de óleo;
- Reciclagem: supre parte da matéria-prima necessária ao cumprimento das metas do Plano Nacional de Produção de Biodiesel;
- Ambiental: protege o ambiente pela exclusão de um agente poluente no esgoto urbano e pela redução da emissão de GEE's.
- Social: Gera empregos e renda para catadores de material reciclável.

Conforme Petrobrás (2013), a água e sedimentos presentes no óleo de fritura acarretam uma série de problemas quando aplicados em motores de combustão utilizando combustíveis líquidos, como:

- Entupimento de filtros;
- Desgaste de bomba;
- Desgaste do bico injetor;
- Borra no tanque;
- Corrosão;
- Combustão incompleta (falhas de combustão);
- Maior consumo de combustível;

Segundo a Oil World (2003), o consumo de óleo vegetal produzido para fins alimentícios no Brasil *per capita* é de 20 litros ao ano. Considerando 201 milhões de habitantes, conforme IBGE (2013), o consumo total é de mais de 4 bilhões de litros ao ano e apenas 6,79% do óleo de fritura descartado é utilizado na produção de biodiesel.

2.2.4 Características físico-químicas de óleos vegetais e biodiesel

Conforme Teixeira (2005), os óleos vegetais in natura são muito mais viscosos em relação ao óleo diesel, porém ao se realizar o processo de transesterificação, o biodiesel produzido possui propriedades físico-químicas semelhantes. Tanaka (2007) apresenta algumas características físico-químicas de óleos vegetais, obtidas a partir de diferentes matérias-primas e de óleo diesel na tabela 3. Na tabela 4, são representadas as características de biodiesel, obtidas por Rigotte (2014).

Tabela 3 – Características físico-químicas de óleos vegetais (Fonte: Tanaka, 2007).

Características	Mamona	Babaçu	Dendê	Soja	Óleo diesel *
Poder Calorífico (MJ/kg)	37,256	37,824	37,394	39,379	45,771
Densidade a 25°C	0,9578	0,9153	0,9118	0,92	0,8497
Viscosidade a 37,8°C (mm ² /s)	285	30,3	36,8	36,8	2,0-4,3

*Óleo diesel comercial, cuja densidade foi determinada a 25°C.

Tabela 4 – Características físico-químicas de biodiesel (Fonte: Rigotte, 2014).

Características	Crambe	Soja	Residual de fritura	Óleo diesel
Poder Calorífico (MJ/kg)	36,680	36,420	36,200	40,390
Densidade a 20°C (g/ml)	0,873	0,881	0,878	0,855
Viscosidade a 40°C (mm ² /s)	5,65	4,09	4,02	3,58

2.2.5 Blendas de óleo diesel com óleo e biodiesel de óleo vegetal

Conforme Petrobrás (2007), os motores que utilizam misturas de combustíveis possuem aproximadamente o mesmo desempenho que motores abastecidos com diesel puro. A adição da ordem de 2% a 5% (B2 e B5) apresentam melhoria no funcionamento de máquinas devido ao aumento da lubricidade. Porém, em misturas B50, ocorre perda de potência e conseqüentemente, um aumento no consumo. Para essas misturas, adota-se a nomenclatura Bxx, por exemplo, B0, B5, B20, B100 representam as quantidades 0, 5, 20 e 100 % respectivamente de biodiesel, adicionadas ao óleo diesel.

2.2.6 Efeitos do pré-aquecimento de combustíveis

Marzzoco & Torres (1990) citam que, gorduras são elementos ricos em ácidos graxos saturados e, por isso, à temperatura ambiente são sólidas. Já os óleos vegetais são ricos em ácidos graxos insaturados e, por isso, à temperatura ambiente, são líquidos.

Conforme Ribeiro *et al.* (2005), a viscosidade é uma resistência ao fluxo, dada uma temperatura. Baseando-se na Teoria do Estado Ativado de Eyring (1941), quanto maior for a viscosidade, maior será a energia de ativação, de maneira que o aumento da temperatura provoca uma diminuição da viscosidade. Segundo Steffen (1996) e Caciari (2010), pequenas variações de temperatura modificam rapidamente a viscosidade, o que afeta a atomização do combustível durante a injeção na câmara de combustão, sendo que em baixas temperaturas ocorrem vários problemas, como entupimento e formação de depósitos no motor, diminuição do desempenho e vida útil de motores.

Conforme Machado (2008), o aquecimento de ésteres combustíveis estabelece uma melhor viscosidade, produzindo um jato atomizado pelo bico injetor. Ocorre também um maior efeito de difusão e uma maior velocidade de formação do jato de combustível. Enquanto o jato de combustível pulverizado em motores a temperaturas mais baixas tem forma de guarda-chuva com um vazio no seu interior, em temperaturas elevadas possuem o mesmo formato,

com seu interior completamente preenchido.

Ao avaliar a viscosidade e a tensão superficial de óleos vegetais a 85 °C, Peterson *et al* (1996) verificaram uma influência significativa do ponto de injeção sobre a adequada formação do jato de pulverização do óleo combustível, porém afirma que: “Pré-aquecer o combustível para elevar a temperatura do mesmo na bomba injetora não resulta em um incremento correspondente na temperatura do injetor, que é de 85°C”. Para que se consiga a otimização dos combustíveis oriundos da biomassa, é necessário algumas alterações nos motores.

2.3 COMBUSTÃO

Por definição segundo Serfati (2007), combustão é uma reação química exotérmica entre 2 substâncias ditas combustível e comburente que reagem a alta temperatura e com ritmos intensos. Na combustão, ocorre o processo químico em que um oxidante reage rapidamente com um combustível para liberar a energia térmica, geralmente na forma de gases e produtos de combustão a altas temperaturas. Pequenas quantidades de outras energias também são desenvolvidas durante o processo de combustão: energia eletromagnética (luz), energia elétrica (íons e elétrons livres) e energia mecânica (ruído). Os combustíveis empregados industrialmente são compostos basicamente de carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre e nitrogênio. O comburente normalmente utilizado é o oxigênio do ar.

Combustão completa é o processo que leva as substâncias combustíveis à sua forma mais oxidada e, combustão incompleta é o processo no qual os produtos de combustão são constituídos, em parte, por formas que representam oxidação parcial dessas substâncias (SERFATI, 2007).

Para Andrade (2007), combustíveis a base de hidrocarbonetos, poderão ser completamente oxidados somente se o oxigênio constante na mistura estiver a uma relação denominada de estequiométrica, onde existe uma quantidade exata de combustível e ar, sendo assim cada tipo de combustível tem uma quantidade específica. A equação 1 representa a relação de ar/combustível:

$$\lambda = \frac{\frac{A}{\bar{f}(at)}}{\frac{A}{\bar{f}(st)}} \quad (1)$$

Sendo:

λ = Eficiência da relação Ar/Combustível

A = massa de ar atmosférico (Kg)

f = massa de combustível admitido pelo motor (Kg)

at = Relação real de massa de ar e combustível que está sendo admitida pelo motor (Kg/Kg)

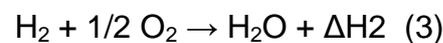
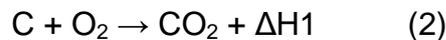
st = Relação ideal de massa de combustível e ar estequiométrico (Kg/Kg)

A tabela 5 apresenta a classificação das relações de misturas:

Tabela 5 – Relação da mistura ar/combustível (Fonte: Andrade, 2007)

MISTURA	RICA	POBRE	ESTEQUIOMÉTRICA
λ	>1	<1	$=1$

Utilizando como parâmetro elementos que estão presentes na maioria dos combustíveis, as reações de combustão completa seriam:



Onde $\Delta H1$, $\Delta H2$ e $\Delta H3$ representam a energia liberada por unidade de massa ou volume, normalmente referida a substâncias combustíveis. As reações que são de combustão incompleta são as seguintes:



As substâncias resultantes destas últimas reações poderiam ainda ser oxidadas através das seguintes reações:



Neste caso, ter-se-iam de energias liberadas, as seguintes relações:

$$\Delta\text{H6} + \Delta\text{H4} = \Delta\text{H1}; \text{ e,} \quad (9)$$

$$\Delta\text{H7} + \Delta\text{H5} = \Delta\text{H3} \quad (10)$$

2.4 QUEIMADORES A ÓLEO DIESEL

Conforme Faulkner (1981), mudanças na temperatura do ar de combustão e da pressão, grandes flutuações na temperatura ambiente, a viscosidade do combustível utilizado, os bicos injetores com resíduos e sujeiras nas paredes da caldeira afetam o rendimento dos queimadores. Nesses equipamentos, existe uma grande variedade de combustíveis que podem ser utilizados.

Serfati (2007) afirma que, queimador pode ser definido como um dispositivo que posiciona uma chama em uma determinada posição pela liberação de ar e combustível com uma determinada mistura capaz de assegurar a contínua ignição e combustão completa. Tem a função de subdividir o combustível em gotas de menor diâmetro possível e introduzir esta névoa de pequenas partículas adequadamente no interior da câmara de combustão. Os fenômenos de ignição e combustão desta névoa são precedidos da evaporação na superfície das gotas e da mistura destes vapores com o ar de combustão. Uma mistura uniforme do ar com o combustível é importante. Toda a partícula de combustível deve estar em contato com o oxigênio. O aumento da turbulência contribui para essa mistura.

Existem duas fontes básicas de energia que são disponíveis para gerar a mistura: a pressão de ar disponível ou a tiragem ao longo do queimador e a energia de descarga do combustível (SERFATI, 2007). A energia do combustível é extremamente importante quando a tiragem é natural ou com

baixas pressões de ar.

O comportamento das chamas de líquidos é afetado pelas seguintes variáveis de processo:

- Características do combustível;
- Qualidade do processo de nebulização;
- Rotação do fluxo de ar;
- Temperatura do ar de combustão;
- Temperatura interna da câmara de combustão.

Para Serfati (2007), quando se aumenta a pressão de nebulização, as gotas obtidas possuem menor diâmetro, o que permite atingir a condição de ignição mais próxima do bico nebulizador. Com o aumento na vazão de fluidos recirculados externamente ao jato, ocorre a aproximação do ponto de ignição do bico nebulizador, e um estreitamento da chama. A taxa de vaporização de uma gota é maior tal qual for à condutibilidade térmica e a entalpia de reação, e menor for o calor específico a uma pressão constante, a entalpia de vaporização e a temperatura de ebulição do líquido.

Conforme Faulkner (1981), a energia térmica que provem de uma chama pode ser resultado da queima de diversos combustíveis, podendo estar no estado líquido, gasoso ou sólido. O princípio de queima de um ou do outro tem características semelhantes, mas cada chama tem determinadas propriedades, que influencia na potência, na formação de poluentes e, para cada tipo de combustível, o queimador utilizado é diferente, inclusive na dimensão da caldeira.

Ainda segundo o mesmo autor, quando se queima óleo ou gás, uma diferença é imediatamente observada: a distância da chama à cabeça do queimador. Uma vez que não ocorre atomização no combustível gasoso, a reação ocorre muito próxima à cabeça do bico injetor, ao contrário dos combustíveis líquidos que, devido à atomização, necessitam de maior espaço até que a reação ocorra. Assim, a cabeça do queimador, no caso de um gás, deve ser muito mais resistente ao calor e a caldeira pode ter menor dimensão.

2.5 CALDEIRAS

Conforme Romanini (2010), o mais importante gerador de vapor é a caldeira, que é um trocador de calor que trabalha com pressão superior à pressão atmosférica, produzindo vapor a partir da energia térmica liberada pela queima de um combustível qualquer. Isso se aplica para todos os tipos de caldeira, como de vapor d'água, mercúrio ou outros fluídos e que utilizam energia térmica ou elétrica. Em algumas aplicações o fluído permanece no estado líquido, apenas com temperatura elevada, chamadas de caldeiras de água quente ou aquecedores de água.

Nogueira (2005) relata que, as caldeiras podem ser classificadas de diversas formas:

- Quanto à disposição da água em relação aos gases:
 - a) Flamotubulares; ou
 - b) Aquotubulares.
- Quanto à energia empregada no aquecimento:
 - a) a partir de combustíveis: sólidos, líquidos e gasosos;
 - b) elétricas: jatos d'água; eletrodos submersos; resistores;
 - c) caldeiras de recuperação; gases de processos; recuperação química.
- Quanto à montagem:
 - a) Caldeiras pré-montadas (compactas);
 - b) Caldeiras montadas em campo.
- Quanto à sustentação:
 - a) Caldeiras auto-sustentadas;
 - b) Caldeiras suspensas;
 - c) Caldeiras mistas.
- Quanto à circulação de água:
 - a) Circulação natural;
 - b) Circulação forçada.
- Quanto ao sistema de tiragem:
 - a) Tiragem natural;
 - b) Tiragem forçada;
 - c) Tiragem balanceada ou induzida.

As caldeiras utilizadas na produção de vapor de água ou aquecimento

de fluidos térmicos podem apresentar elevadas perdas de energia, assim devem ser adequadamente dimensionadas e sua operação e manutenção devem atender certos critérios e cuidados, segundo Romanini (2010).

De acordo com YOTAMO (2011), considerando o balanço de energia em caldeiras, o que entra de calor no volume de controle, deve sair, descrito na equação 11:

$$Q_{entra} = Q_{sai} \quad (11)$$

Como o combustível é a fonte energética do sistema, o balanço energético é descrito em termos do fluxo de massa de combustível, conforme equação 12 adaptada pelo mesmo autor.

$$Q_{comb} + Q_c^* + Q_{ar}^* = Q_{útil} + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_c^* + Q_{ar}^* \quad (12)$$

Sendo:

$Q_{útil}$ = Calor efetivo gasto (KW)

Q_1 = Calor perdido nos gases de escape (KW)

Q_2 = Calor perdido devido à combustão química incompleta (KW)

Q_3 = Calor perdido devido à combustão mecânica incompleta (KW)

Q_4 = Calor perdido devido ao arrefecimento externo da caldeira (KW)

Q_5 = Calor perdido com a escória (KW)

Q_c^* = Calor do combustível previamente aquecido (entrada) ou p/ aquecer o combustível (KW)

Q_{ar}^* = Calor do ar previamente aquecido (entrada) ou para pré-aquecer o ar (KW)

*Caso o combustível e/ou ar sejam aquecidos pelo calor da caldeira, estes devem ser desconsiderados, pois o calor recebido é o mesmo gasto para aquecer o produto.

Segundo PROCEL (2010), pode-se melhorar sua eficiência através de algumas medidas, como:

- Regulagem da combustão;
- Controle da fuligem e incrustações;
- Monitoramento da eficiência da caldeira, através de medição do CO₂ e da temperatura de escape, utilização de pré-aquecedores e economizadores.

Na tabela 6 estão algumas medidas que podem resultar em uma melhor eficiência e o percentual de economia estimado.

Tabela 6 – Ações e economias estimadas (Fonte: ELETROBRÁS, 2010)

Sem Investimento		Ação	Economia em %
Reduzir excesso de ar		Regulagem de combustão	5 a 10 %
Reduzir temperatura de saída dos gases		Regulagem de combustão/Limpeza da caldeira	1 % a cada 5 °C
Reduzir a pressão de trabalho		Verificar necessidade real de pressão	1 % a cada 5 Bar
Otimizar temperatura do combustível		Verificar com frequência a viscosidade do combustível	Até 5 %
Otimizar pressão de atomização do combustível		Seguir indicações do fabricante do queimador	Até 1 %
Reduzir descarga de fundo		Conforme análise da água da caldeira	Até 1 %
Otimizar sequência de queima		Ajuste da modulação	5 a 10 %
Otimizar sequência de queima de vários queimadores		Ajuste da modulação	2 a 7%
Eliminar vazamentos de vapor		Inspeção das instalações	Até 10 %
Eliminar defeitos em purgadores		Inspeccionar todos	Até 5%
Com Investimento		Ação	Economia em %
Reduzir depósito no queimador		Regulagem de queima. Usar aditivos	1 a 5 %
Reduzir depósito na fornalha		Regulagem de queima. Usar aditivos	1 a 3 %
Reduzir depósito no lado de água		Conforme análise de água da caldeira	1 a 2 %
Reduzir depósito de fuligem nos tubos		Regulagem de queima. Usar aditivos	1 a 4 %
Aumentar temperatura de ar de combustão		Instalar pré-aquecedor de ar	2 a 5 %
Aumentar temperatura de água de alimentação		Instalar e economizar	Até 3 %
Recuperar calor através de descarga de fundo		Instalar "flash tank"	Até 1 %
Recuperar perda de calor na instalação		Otimizar isolamento	Até 8 %
Regulagem contínua do nível de água		Instalar controle de "loop"	Até 1 %
Recuperar condensado		Instalar tanque de condensado	Depende da instalação
Economia de Energia Elétrica		Ação	
Instalar inversor de frequência		Incl. Melhor ambiente sonoro	
Verificar necessidade de potência dos motores		Eventuais superdimensionamentos	
Aquecedores de combustível		Usar somente vapor	

2.6 EMISSÕES PRODUZIDAS PELA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS

Segundo Serfati (2007), dos processos de combustão ocorre à emissão de diversos gases que, dependendo o combustível utilizado, são em maior ou

menor escala poluentes. Existem 3 emissões significativas no processo de combustão do ponto de vista da qualidade do ar:

- a) Materiais particulados
- b) Óxidos de enxofre
- c) Óxidos de nitrogênio.

Conforme Carvalho (2011), até 2005 a Petrobrás distribuía diesel nas grandes metrópoles brasileiras com até 2000 ppm (partes por milhão) de enxofre. Após implantação da Lei nº 11.097, comercializa o diesel S500 com 500 ppm de enxofre, e em alguns estados já é lei a comercialização de diesel S50. O enxofre é responsável pela formação das chuvas ácidas que poluem rios, lagos, florestas e plantações, além de degradar imóveis urbanos.

Conforme Silva (2007), em veículos automotores, os principais produtos formados na combustão são classificados como: os que não causam danos à saúde: dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e moléculas de nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2); e os que apresentam riscos à saúde e tem sua emissão regulamentada, como: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) material particulado (MP) e aldeídos ($\text{H}_2\text{C}=\text{O}$); e os prejudiciais que ainda não possuem regulamentação como: amônia (NH_3), benzeno (C_6H_6), cianetos (CN^{-1}) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA).

Segundo o mesmo autor, as medidas adotadas para mitigar os efeitos nocivos são empregadas principalmente para os materiais particulados, porque são visíveis e geram impugnação aos habitantes próximos. Porém, os óxidos de enxofre possuem efeitos nocivos à saúde humana e a vegetação e os óxidos de nitrogênio também causam danos à atmosfera, pois participam de um processo de reações químicas complexas que contribuem para a formação de um smog-fotoquímico na atmosfera. Entre os gases de interesse, ressalta-se o CO , CO_2 , NO_x , SO_x e SO_2 .

Queiros (2006) esplanas as curvas de atenuação nas emissões de gases a diferentes concentrações de biodiesel, ocorrendo um acréscimo de 10 pontos percentuais para B100 comparando a um combustível B0, conforme figura 5.

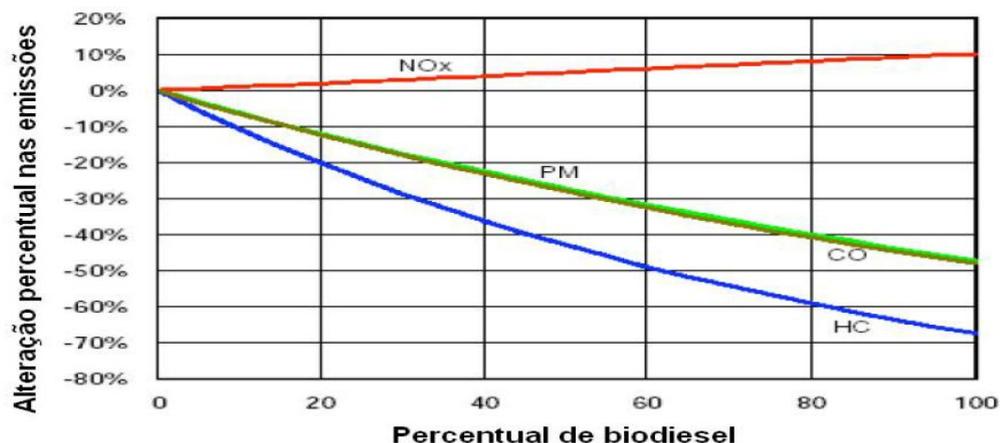


Figura 5. Alteração percentual nas emissões de gases utilizando biodiesel. Fonte: Queiroz (2006).

Em testes realizados por Oliveira (2003) com biodiesel proveniente de óleos vegetais novos e de fritura, a redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) com o uso do biodiesel puro (B100) é da ordem de 78%, quando é utilizado o metanol no processo de transesterificação. No entanto, quando é utilizado o etanol oriundo da cana-de-açúcar, a redução das emissões pode chegar a um teor próximo de 100%. A produção de biodiesel, a partir de óleos e graxas residuais, permite reutilizar e reduzir em 88% o volume destes resíduos que são descartados indevidamente e diminuir as emissões em 54% para hidrocarbonetos, 46% para CO_2 e 14,7% para NO_x em relação ao óleo diesel (CANAKCI, 2007; UTLU; KOÇAK, 2008).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. DESCRIÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO

A pesquisa foi realizada no município de Cascavel, Paraná, Brasil, à latitude 24°53'47"S e longitude 53°32'09"W, altitude de 781 m, no *Campus* da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, na piscina térmica do bloco de Fisioterapia, entre os dias 06 e 20 de setembro de 2014. Segundo estudo realizado durante 25 anos no município pelo IAPAR (1998), a precipitação média anual é de 1971 mm e a temperatura média é de 19,6°C. Devido à transferência de calor ser variável de acordo com a massa e energia dissipada em calor pelas pessoas que utilizam a piscina, a realização do experimento ocorreu sem a presença das mesmas.

A piscina possui dimensões de 11,90 metros de comprimento por 7,80 metros de largura, totalizando uma área de 92,82 m² de espelho d'água e profundidade variável, sendo no ponto máximo 1 metro, com capacidade de 64 m³, em local coberto e fechado, com 793,8 m³ no ambiente interno.

O sistema existente na piscina é similar ao mostrado na figura 6. Para o aquecimento, existem 2 sistemas utilizados: Elétrico, utilizado nos meses de verão, ao qual a demanda de potência é menor, e a óleo diesel, utilizado nos meses de inverno.

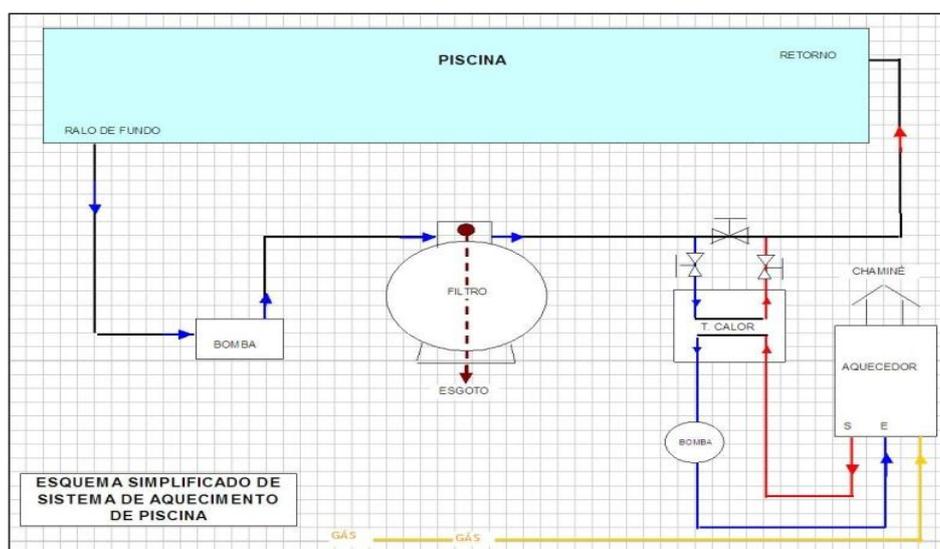


Figura 6 – Esquema simplificado de sistema de aquecimento de piscinas (Fonte: Sampaio, 2014).

A troca de calor da água da piscina é feita por uma caldeira aquatubular da marca Argus, que possui um reservatório de 180 litros, e a circulação é feita por uma moto-bomba de 1,5 CV, com vazão média de 4,716 m³/h, determinada através da aferição do volume que flui na entrada da água em 1 minuto, em triplicata. As tubulações de entrada e saída da água na caldeira são metálicas e possuem 40 mm de diâmetro, já no restante do sistema a tubulação é de PVC com 50 mm de diâmetro.

Para realização do experimento, foram adaptados ao sistema já existente os itens representados pelo diagrama de blocos da figura 7.

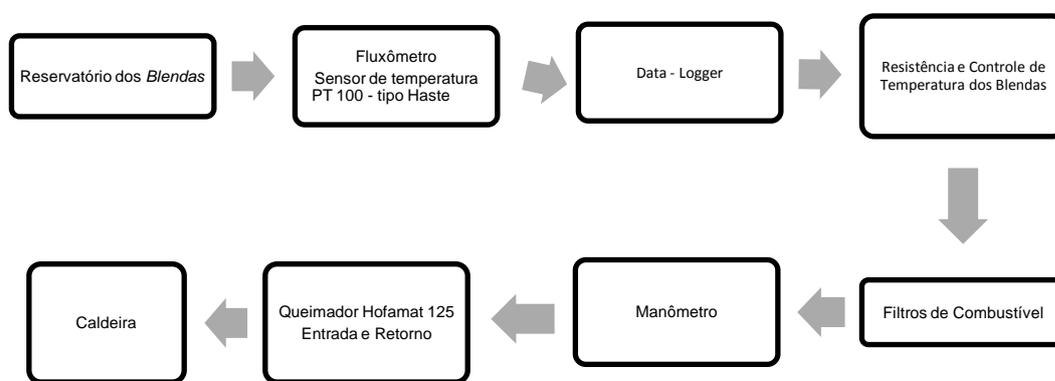


Figura 7 - Diagrama de blocos do sistema de aquecimento (Fonte: do autor)

O reservatório utilizado para inserção das blendas realizadas foi um vasilhame de água de material acrílico, com capacidade de 20 litros e nele foram adaptados conectores de pressão de 8 mm. Tubulações em poliuretano de 6 e 8 mm foram utilizadas interligando os filtros de combustível na entrada, filtro no painel, juntamente com o fluxômetro para medir o consumo e um sensor de temperatura PT 100 – tipo haste, para medir a temperatura instantânea do combustível. Foram monitoradas também durante o experimento a temperatura de entrada e saída da água na caldeira, utilizando 2 sensores termopar – tipo j, utilizando um Data Logger e aferindo as medições de temperatura a cada 1 segundo. No queimador, existe o ajuste da pressão que deve ser aferida por um manômetro e o ajuste da entrada de ar (damper), utilizado para aquecer a caldeira. A figura 8 representa o sistema montado, assim como o queimador e a caldeira, onde foram inseridos os sensores de temperatura.

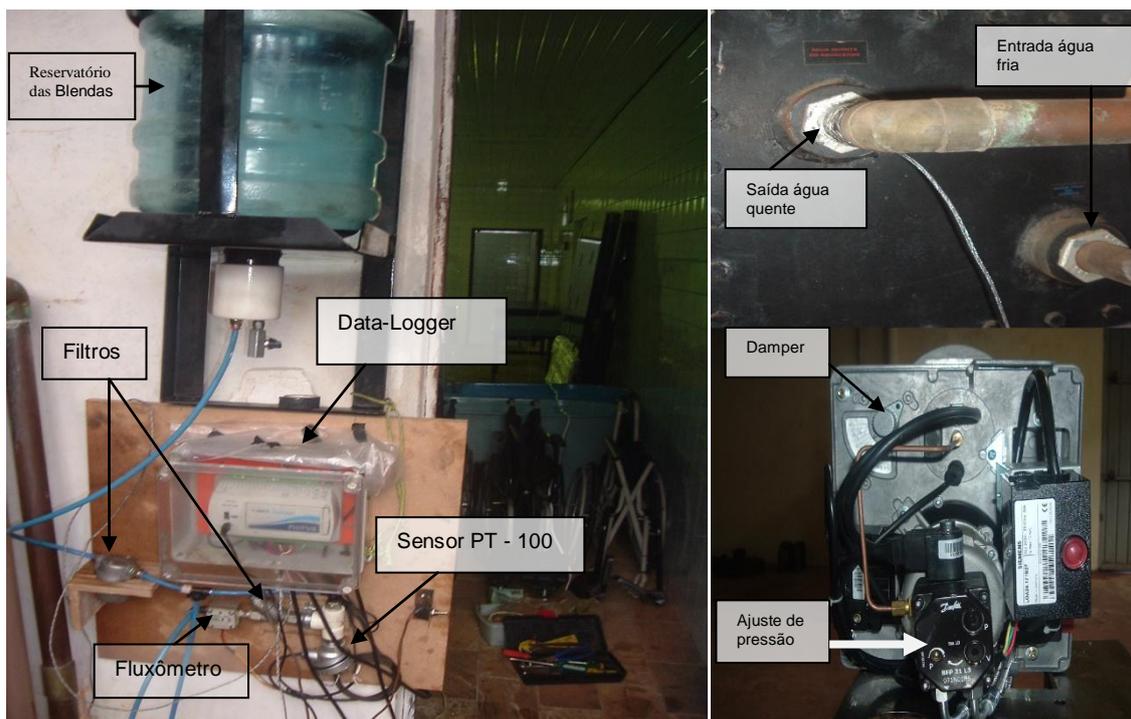


Figura 8 – Sistema de aquecimento e monitoramento instalado (Fonte: do autor).

Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado, em triplicata, sendo pré-determinado o tempo de 3 minutos para cada amostra. Os tratamentos utilizados foram o óleo diesel (ODxx), o óleo residual de fritura (OFxx) bruto e biodiesel de óleo residual de fritura (Bxx), em um queimador para aquecer a piscina térmica, com e sem o pré-aquecimento do combustível. A tabela 7 e 8 abaixo representa os percentuais de combustível avaliados no experimento.

Tabela 7 – Percentuais utilizados nas misturas de OD e OF (Fonte: do autor).

PERCENTUAL	OF0	OF10	OF20	OF30	OF40	OF50	OF60	OF70	OF80	OF90	OF100
Óleo Diesel (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Óleo Fritura (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Tabela 8 – Percentuais utilizados nas blendas de OD e Bxx (Fonte: do autor)

PERCENTUAL	B0	B10	B20	B30	B40	B50	B60	B70	B80	B90	B100
Óleo Diesel (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Biodiesel (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

3.2. FLUXÔMETRO SPARLING OVAL M – III, MODELO LSF41L

Segundo Sparling (2002), apresentado no *datasheet* do fluxômetro Sparling Oval M – III modelo LSF41L, o dispositivo é utilizado para medição de fluxo muito pequeno para vários combustíveis, como querosene, óleo diesel, óleo combustível, etc. As unidades estão disponíveis para registro remoto e utilizam um gerador de pulso de saída, com precisão de $\pm 1\%$.

Cada medidor é equipado com duas engrenagens em forma oval que giram quando o fluido passa por uma câmara de medição fixa. A rotação de engrenagens desloca um volume fixo de líquido e o sensor detecta a rotação da engrenagem, que é proporcional ao volume de líquido e vazão. O medidor é projetado para minimizar o deslizamento entre as engrenagens e corpo da câmara de medição, o que minimiza o erro na medição devido à viscosidade do líquido e lubricidade. Pode operar com temperaturas entre -20 a 80 °C, máxima pressão de trabalho de 150 psi, com uma resposta em frequência máxima de 1000 Hz, o que permite realizar leituras a cada 1 ms. Sua tensão de alimentação é de 24 Vcc e sua potência nominal é 0,2 W. Seu diâmetro interno é de 1/8" (6 mm), e o pulso de saída do sensor é de 0,5 V. A figura 9 mostra como funciona o fluxômetro.

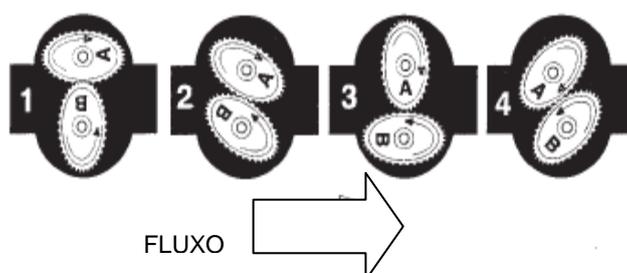


Figura 9 – Descrição do funcionamento do fluxômetro (Fonte: *Datasheet*. p.1)

3.3 SENSOR DE TEMPERATURA PT 100 – TIPO HASTE DE 3 FIOS

Um dos sensores de temperatura utilizados no experimento foi o sensor PT 100, haste de inox 6 x 50 mm, cabeçote grande, rosca 1/2 polegada BSP, para até 300°C. Conforme RHOPOINT (2003), apresentado no *datasheet* do sensor PT 100, termoresistências de platina ou RTD's (*Resistance Temperature Detector*) são sensores de temperatura que operam baseados no

princípio da variação da resistência ôhmica em função da temperatura.

Como sua resistência é proporcional de acordo com a temperatura, aplicando uma corrente conhecida, se obtém uma tensão de saída que vai variar com a temperatura. Possui alta precisão ($\pm 0,2$ °C), estabilidade á longo prazo, linearidade e intercambialidades sem ajustes técnicos ou calibração. A faixa de temperatura é de - 200 °C a 850 °C, sendo que a 0°C, apresentam uma resistência de 100 Ω . Ele é descrito pela equação 13, na qual observamos a não-linearidade entre a relação da temperatura e resistência:

$$R_T = R_0[1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3] \quad (13)$$

Sendo:

R_T = Resistência em determinada temperatura (Ω)

R_0 = Resistência a 0°C (Ω)

T = Temperatura instantânea(°C)

$A = 3,9083 \times 10^{-3}$

$B = -5,775 \times 10^{-7}$

$C = -4,183 \times 10^{-12}$, abaixo de 0°C, e zero acima de 0°C

O sensor de temperatura PT 100 pode ser conectado utilizando 2, 3, ou 4 fios, de acordo com a aplicação. No experimento, foi utilizado com 3 fios, que permite uma compensação para a resistência do fio, porém os fios conectores devem possuir as mesmas características. A figura 10 mostra o circuito elétrico do sensor PT 100 com 3 fios, acoplado ao Data logger.

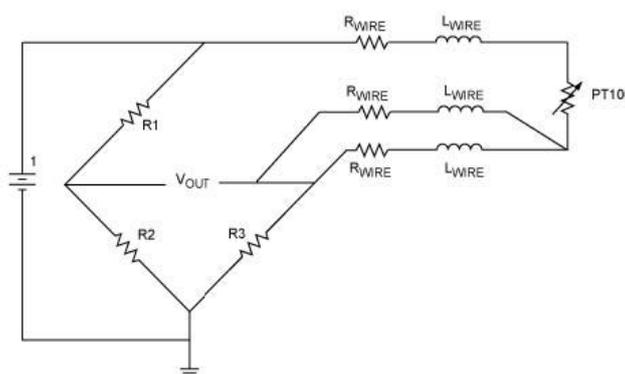


Figura 10 – Circuito Elétrico sensor PT 100 com 3 fios (Fonte: *Datasheet* – p.5)

3.4 SENSOR DE TEMPERATURA TERMOPAR – TIPO J

Outro sensor de temperatura utilizado foi o Termopar – tipo J, de Ferro – Constantan (FECO), que atua também como termoresistência em temperaturas de 0 a 270 °C, com precisão de 0,75%, ou $\pm 2,2^{\circ}\text{C}$.

3.5 DATA LOGGER NOVUS – MODELO FIELD LOGGER

Conforme manual desse equipamento (NOVUS, 2013), é um módulo de leitura e registro de variáveis analógicas, digitais e outras, com grande resolução e velocidade. Possui 8 entradas analógicas configuráveis por software para sinais de tensão, corrente, termopares, Pt 100 e Pt 1000. Dispõe ainda de 2 saídas a relé e 8 portas digitais individualmente configuráveis como entrada e saída. Através do equipamento, ocorre o processamento dos dados dos sensores de temperatura e do fluxômetro e através de um software são feitas as configurações, tendo capacidade de realizar leituras a cada 1 ms.

3.6 MANÔMETRO

O manômetro utilizado foi de 14 Bar, necessário para ajuste da pressão nas tubulações de entrada de combustível no queimador.

3.7 QUEIMADOR HOFAMAT – MODELO ICA-D 125

Conforme o manual do fabricante, esse queimador é específico para uso de óleo diesel, porém, pode ser utilizado com biodiesel e possui uma potência mínima de 47300 Kcal/h (55 KW) e potência máxima de 107500 Kcal/h (125 KW), taxa de óleo de 4,7 a 10,3 Kg/h sendo sua alimentação em 220 V. Possui entrada e saída de combustível, entrada do manômetro e ajuste de pressão, que deve ser ajustado em 9 bar. O equipamento possui também ajuste da posição da haste do bico injetor e um ajuste do *damper*, recomendado a operar no nível 7,5 com óleo diesel. Esses referenciais de pressão e entrada de ar foram considerados parâmetros testemunha, na utilização de óleo diesel puro. Variações no *damper* alteram a taxa de injeção

da mistura ar/combustível.

3.8 OBTENÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS

O óleo diesel utilizado foi adquirido na própria instituição, o qual apresenta uma composição B5, ou seja, contém 5% de biodiesel, conforme legislação vigente no Brasil. Como a procedência da matéria prima do biodiesel contido no óleo diesel adquirido é desconhecida, considerou-se como B0, sendo essa a variável testemunha do experimento.

Uma quantidade de aproximadamente 800 litros de óleo residual de fritura bruto foi coletada em restaurantes e residências no período de 03/2014 a 08/2014 e armazenado em galões para produzir o biodiesel. Esse óleo foi aquecido, filtrado e decantado para separação da água e resíduos sólidos e, posteriormente foi armazenado em um tanque reservatório fechado, com 1 m³ de acrílico.

Parte desse óleo residual foi utilizada para produzir aproximadamente 150 litros de biodiesel do óleo residual, feito na usina experimental de biodiesel em 24/06/2014, localizada no *Campus* da UNIOESTE.

Após a realização da coleta, o óleo residual foi inserido no filtro decantador, que possui capacidade de armazenamento de 150 litros e 2 sistemas de filtragem na entrada de malha 1 mm.

O óleo inserido no filtro foi aquecido a 60°C por uma resistência imersa no tanque reservatório e a temperatura ajustada em um controlador, para diminuir sua viscosidade. O filtro decantador possui uma moto bomba, marca Eletroplas, modelo ICS – 100B, com potência de 1 HP, vazão máxima de 3 m³/h, com tensão de alimentação de 220 V.

Após o aquecimento, o óleo residual foi mantido em repouso para decantação e separação da água e resíduos sólidos restantes por 48 horas. Após esse processo, o óleo passou por um filtro de saída, que possui 2 manômetros e que controlam sua pressão. Quando a pressão está acima de 5 Bar, é necessário realizar a limpeza do filtro. Após passar pelo filtro de saída, o óleo residual foi armazenado em um tanque que posteriormente, utilizou-se uma parte nas blendas com óleo diesel.

Após o tratamento do óleo residual vegetal coletado, foi produzido o

biodiesel dessa matéria-prima utilizando 200 litros, na usina de biodiesel por processo de transesterificação por rota metálica, onde foram adicionados 30 litros de metanol líquido e 8 litros de metilato de sódio em solução a 30 % de metanol, que é o catalisador para aceleração do processo. Para ocorrer à reação de transesterificação, é feito o bombeamento dos reagentes para o reator, onde esses reagentes ficam por 40 minutos no reator.

Após a reação de transesterificação ser realizada, é necessário separar a glicerina contida do biodiesel e esse processo é feito por decantação, que levou aproximadamente 1 hora e 40 minutos.

O biodiesel produzido passa por um sistema de dupla filtragem e destilação. Esses filtros são monitorados por controle de pressão e através de sua leitura, determina-se a necessidade de limpeza dos filtros. Como subproduto do processo, a glicerina é separada do biodiesel devido à diferença de densidade, retirada e armazenada em um galão. O biodiesel produzido foi armazenado em tanque acrílico fechado, com 1 m³.

3.9. AQUECIMENTO E CONTROLE DE TEMPERATURA DAS BLENDS

No sistema instalado foi adaptado um sistema de aquecimento das blends, através de uma resistência de 350 W, alimentada em 127 V, antes da queima. O sistema também possui um controlador de temperatura analógico, da marca COEL, modelo HW 300 que segundo o *datasheet*, possui o controle dentro de uma banda proporcional de 0,2 a 10 %, devido á diferença de desvio entre o *set point* e a medida do sensor, ligando e desligando, resultando na estabilização da temperatura ao longo do tempo, conforme manual do fabricante.

Essa resistência foi submersa em um recipiente com 2,5 litros de água e utilizada para aquecimento por onde fluía o combustível. O controle de temperatura do fluido em 85 °C foi realizado inserindo um sensor termopar tipo j e monitorado com um termômetro digital. Como esse sistema de controle de temperatura foi externo ao fluxo de combustível, a temperatura média durante todo o experimento, com aquecimento foi de 50,63 °C, enquanto que sem o aquecimento, a temperatura média foi de 30,72 °C. A figura 11 mostra os equipamentos utilizados para realizar esse procedimento.



Figura 11 – Sistema de aquecimento dos combustíveis (Fonte: do autor).

3.10 PARÂMETROS AVALIADOS NOS COMBUSTÍVEIS

A tabela 9 (PETROBRÁS, 2013) mostra algumas propriedades físico-químicas que são utilizadas em análises de combustíveis.

Tabela 9 – Propriedades físico-químicas (Fonte: PETROBRÁS, 2013)

PROPRIEDADE	O QUE É?	O QUE AFETA?
Densidade	Massa contida em determinado volume	Potência, emissões e economia de combustível
Viscosidade	Tempo de escoamento do combustível em capilar padronizado	Atomização, lubrificação do sistema de injeção
Destilação	Faixa de temperatura de vaporização à pressão atmosférica	Potência, fumaça, depósitos no motor
Número de cetano	Qualidade de ignição	Fumaça, partida a frio, ruído, economia de combustível, emissões
Teor de enxofre	Enxofre total presente	Desgaste de cilindros e anéis, depósitos no motor, emissões
Resíduo de carbono	Tendência à formação de depósitos de carbono	Depósito de coque em partes do motor
Estabilidade a oxidação	Tendência à formação de borra, goma, aderente e escurecimento	Estocagem, filtros, bicos injetores, bomba injetora
Cinzas	Conteúdo de material inorgânico (teor elevado indica existência de contaminação)	Acelera entupimento de filtros
Ponto de Fulgor	Temperatura mais baixa na qual o produto se vaporiza em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável com ar	Segurança, sistema de injeção tamponamento
Corrosividade ao cobre	Potencial de corrosividade dos produtos devido a presença de enxofre e seus derivados	Vida útil dos tanques, linhas e partes internas do motor
Ponto de entupimento	Temperatura de início de cristalização de parafinas	Entupimento de filtro, escoamento do combustível
Água e sedimentos	Contaminação com água e impurezas	Entupimento de filtro, desgaste de bomba, desgaste do bico injetor, borra no tanque, corrosão, combustão

Os parâmetros avaliados no experimento nas blends de: óleo de fritura (OF) e biodiesel(Bxx), com óleo diesel (OD), foram: Percentual de óleo

filtrado e desumidificado ($\%_{ORF}$), densidade a 20 °C (ρ), viscosidade cinemática a 40 °C (ν), poder calorífico inferior (PCI), Consumo horário volumétrico corrigido (Chvc) e Emissão de Gases (EG) para todos os tratamentos. Os dados de Consumo volumétrico térmico (Cvt), Consumo Específico (CE), Ganho de temperatura na caldeira (ΔT), Eficiência Energética (η) foram aplicados nos percentuais $\geq 40\%$ apenas nas blendas de OD e Bxx, todos utilizando 3 repetições (triplicata). Essa metodologia foi adotada devido a um erro nas aferições dos percentuais de 0, 10, 20 e 30%, pois a caldeira não estava aquecida, o que influenciou diretamente no ganho de temperatura da caldeira.

3.10.1 Percentual de óleo filtrado e desumidificado

Inicialmente, foi avaliado o percentual de óleo bruto residual filtrado e desumidificado. Após o aquecimento a 60 °C e filtragem foram analisadas três amostras de diferentes fontes de óleo residual de fritura, utilizadas para produção do biodiesel, utilizando uma quantidade de 50 litros, ao qual foram inseridas no filtro decantador e deixadas em repouso por 48 horas. A água e impurezas ficam armazenadas no fundo do recipiente, sendo que após esse período, foram separados e verificados os percentuais de água e impurezas e de óleo, utilizando uma balança digital de precisão de 10^{-3} Kg. A determinação do percentual de óleo filtrado e desumidificado é representado na equação 14:

$$\%_{ORF} = \frac{m_{orf} * 100}{m_T} \quad (14)$$

Onde:

$\%_{ORF}$ = Percentual de óleo (%)

m_{orf} = massa de óleo residual filtrado e desumidificado (g)

m_T = massa total de óleo bruto (g)

3.10.2 Densidade específica a 20 °C

Para realização das medições de densidade específica, foi utilizado o método do picnômetro, que consiste em determinar a massa e, dado o volume conhecido do picnômetro (20 ml), calcula-se a densidade. O processo foi realizado com uma temperatura ambiente de aproximadamente 20 °C e o cálculo da densidade representado na equação 15, sugerida por Abud (2010):

$$\rho = \frac{m_{\text{líquido}}}{V_{\text{líquido}}} \quad (15)$$

Sendo:

ρ = densidade específica (g ml⁻¹)

m = massa do líquido (g)

V = volume de líquido (ml/cm³)

3.10.3 Viscosidade Cinemática a 40 °C

Viscosidade cinemática (ν) é conforme Ribeiro et al (2005), uma força que se opõe ao movimento de fluxo, dada uma temperatura. É uma medida da fricção interna de um fluido e para obtenção das amostras de viscosidade cinemática nas blendas, foram utilizados 2 viscosímetros Cannon-Fenske (75/150) para líquidos opacos e mantidos imersos em banho-maria a uma temperatura média de 40 °C, com uma quantidade de óleo pré-determinada. Utilizando um cronômetro digital, foram aferidas as medições do tempo de escoamento do líquido pelo tubo capilar previamente calibrado. A determinação da viscosidade cinemática é representada conforme Tavares (2011), na equação 16:

$$\nu = C \cdot t \quad (16)$$

Onde:

ν = viscosidade cinemática ($\text{mm}^2/\text{s}^{-1}$)

C = Constante de calibração do viscosímetro (tabelado) ($\text{mm}^2 \text{s}^{-2}$)

t = Tempo de escoamento do combustível (s)

3.10.4 Poder calorífico inferior

Outro parâmetro analisado foi o poder calorífico inferior (PCI) em cada percentual das misturas, através da determinação do poder calorífico superior (PCS), utilizando o calorímetro de bomba modelo E2K e seguindo instruções do fabricante em inserir aproximadamente 0,4 g. Conforme citado por Branco (ZETEC), o poder calorífico superior é o valor onde os vapores de água presentes nos gases de combustão são condensados e o poder calorífico inferior é o valor no qual esses vapores não se condensam. A aferição de massas das blendas foi realizada com a balança de precisão de 10^{-2} g. Esses materiais combustíveis foram inseridos em um recipiente adiabático, logo após foi inserido o fio de ignição, o qual foi pressurizado a 3 MPa na bomba calorimétrica. A bomba foi inserida no calorímetro e, feita a inserção dos dados da massa contida de combustível no equipamento de forma adequada, obteve-se os valores do poder calorífico superior (PCS) das misturas em MJ Kg^{-1} . Para determinação do poder calorífico inferior (PCI) foi utilizada a equação 17, descrita por Volpato et al. (2009):

$$PCI = PCS - 3,052 \quad (17)$$

Sendo:

PCI = Poder calorífico Inferior (MJ Kg^{-1})

PCS = Poder calorífico Superior (MJ Kg^{-1})

3,052 = Constante

3.10.5 Consumo Horário Volumétrico

Para analisar o consumo volumétrico de combustível, foi instalado um fluxômetro específico para líquidos, acoplado ao *Data logger* e configurado para realizar uma leitura por segundo, em triplicata, sendo cada amostra determinada em 3 minutos em uma entrada digital. A equação 18 mostra o cálculo realizado para determinar o consumo horário volumétrico (Chv), adaptado de Yanai et al. (1999).

$$Chv = \frac{V_c}{t_a} \times 20 \quad (18)$$

Sendo:

Chv = Consumo horário volumétrico ($L h^{-1}$)

V_c = Volume de combustível consumido na amostra (ml)

t_a = Tempo da amostra (3 min)

Esse valor deve ainda ser corrigido para temperatura de 20°C, utilizando-se das Tabelas Oficiais (BRASIL, 1970), conforme mostrado na equação 19.

$$Cvhc = f \cdot Chv \quad (19)$$

$Cvhc$ = Consumo horário volumétrico corrigido ($L h^{-1}$)

f = fator de correção (tabelado)

Chv = Consumo horário volumétrico ($L h^{-1}$)

3.10.6 Ganho de Temperatura na caldeira

O ganho de temperatura na caldeira (G) foi determinado com base na equação descrita por Nogueira (2005), analisando as variações de temperatura na entrada e saída da caldeira durante as amostragens e é representado pela equação 20.

$$\Delta T = T_s - T_e \quad (20)$$

Onde:

ΔT = Ganho de temperatura na caldeira (°C)

T_s = Temperatura de saída da caldeira (°C)

T_e = Temperatura de entrada da caldeira (°C)

3.10.7 Consumo volumétrico térmico

Com o intuito de associar o consumo volumétrico de combustível necessário para elevar em 1° C a temperatura da caldeira, foi definido que essa relação é representada na equação 21.

$$Cvt = \frac{Cv}{\Delta T} \quad (21)$$

Sendo:

Cvt = Consumo volumétrico térmico (ml °C⁻¹)

Cv = Consumo volumétrico de combustível em cada amostra (ml)

ΔT = Ganho de temperatura na caldeira (°C)

3.10.8 Consumo Específico

O consumo específico (CE) dos combustíveis foi determinado utilizando a equação 22, adaptada de Filho et al. (2010) e Silva et al. (2012).

$$CE = \frac{3,6}{\eta.PCI} \quad (22)$$

Sendo:

CE = Consumo específico (Kg KW h⁻¹)

η = Rendimento (Adimensional)

PCI = Poder calorífico inferior e do combustível (MJ Kg⁻¹)

3,6 = Fator de conversão de MJ para KWh

3.10.9 Eficiência Térmica

A eficiência térmica da queima dos combustíveis no sistema instalado foi determinada pela equação 23, adaptada de Nogueira (2005).

$$\eta = \frac{m_{H_2O} \times c_{H_2O} \times \Delta T}{m_c \times PCI} \times 100 \quad (23)$$

Sendo:

η = Eficiência térmica (%)

m_{H_2O} = vazão mássica de água (L amostra)

c_{H_2O} = calor específico da água a pressão constante $4,18 \cdot 10^{-3}$ (MJ Kg. $^{\circ}\text{C}^{-1}$)

ΔT = Ganho de temperatura na caldeira por amostra ($^{\circ}\text{C}$)

m_c = consumo mássico de combustível (Kg amostra)

PCI = Poder calorífico inferior (MJ Kg $^{-1}$)

3.10.10 Emissão de Gases

Utilizando um Analisador de combustão e emissões, da marca Bacharach, modelo PCA3-285 foram efetuadas as medições de emissões de CO₂, O₂ e da temperatura T_s de escape na saída da chaminé. Utiliza sensores inteligentes, adaptados no equipamento e de acordo com o gás a ser medido, o sensor é específico e deve ser calibrado. Nesse equipamento é possível realizar medições de emissão de gases de vários combustíveis, como madeira, querosene, bagaço, biogás, propano, carvão mineral, gás natural e óleo diesel, biodiesel e óleo bruto. Possui precisão de $\pm 5\%$ para medições dos gases poluentes analisados, $\pm 0,3\%$ para O₂ e $\pm 3\%$ para temperatura do gás encanado.

Durante o experimento, o equipamento foi inserido na saída da chaminé e foram coletados os dados, em triplicata, para cada tratamento.

3.10.11 Análise estatística

Os dados de Consumo Específico (CE) dos combustíveis obtidos no experimento foram submetidos à comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5 % de significância, que determinam quais médias diferem entre si das blendas OD e Bxx, com e sem aquecimento. Em seguida, utilizando um fatorial, mesclando todos os tratamentos do experimento, acima de B40. Esses dados foram obtidos utilizando software livre Assistat versão 7.7 beta. Todos os outros resultados foram organizados em tabelas e gráficos das médias obtidas para cada tratamento, comparando os efeitos que cada mistura de combustível apresentou com e sem pré-aquecimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 UTILIZAÇÃO E AJUSTES DO QUEIMADOR

No experimento foi necessário realizar alterações nos valores da pressão e entrada de ar, para corrigir falhas de combustão ocorridas devido aos percentuais diferenciados nas misturas de: óleo diesel (OD) com óleo de fritura (OF) e nas misturas (OD) e biodiesel (Bxx).

Para as blendas de OD e OF sem aquecimento do combustível, foram mantidos os parâmetros testemunha até OF20. Porém para OF30, a pressão foi alterada para 8 Bar e verificou-se a ocorrência de falhas de combustão. Misturas acima de OF30 não permaneceram em combustão. Quando acionado o sistema de pré-aquecimento do combustível, em misturas até OF30 não houve a necessidade de alterações de pressão e entrada de ar. Na mistura OF40, a pressão utilizada foi 10 Bar e 6 na escala do *damper*, com falhas de combustão, enquanto na blenda OF 50 a pressão utilizada foi 13 Bar e para o *damper*, 5,5, também com falhas de combustão. Para valores acima de OF50, o queimador não se manteve em funcionamento.

Considerando as blendas de OD e Bxx sem aquecimento do combustível, foram mantidos os parâmetros testemunha de pressão e *damper* até B80, porém a partir desse percentual, o queimador apresentou falhas de combustão. Nos percentuais acima (B90 e B100), manteve-se o *damper* em 7,5, mas a pressão foi alterada para 11 Bar, verificando-se também a presença de falhas. Quando acionado o sistema de pré-aquecimento de combustível, nas blendas até B80 foram mantidos os parâmetros testemunha sem apresentar falhas do queimador. Nos percentuais acima (B90, B100), a entrada de ar foi mantida em 7,5 e a pressão alterada para 11 Bar, porém sem a presença de falhas de combustão.

4.2 PERCENTUAL DE ÓLEO RESÍDUAL FILTRADO E DESUMIDIFICADO

Os percentuais de óleo, água e impurezas encontrados nas 3 amostras de 50 litros de óleo bruto estão representados na tabela 10:

Tabela 10 – Percentual de óleo, água e impurezas do óleo bruto.

Amostra	Volume(L)	Massa total(Kg)	Massa óleo filtrado e desumidificado (Kg)	Massa de água e impurezas (Kg)	Perc. De óleo	Perc. De impurezas
1	50	47,4	29,97	17,43	63,28	36,72
2	50	47	39,33	7,67	83,68	16,32
3	50	46,9	34,17	12,73	72,86	27,14
Valor médio	50	47,1	34,49	12,61	73,27	26,73

Como o óleo residual é oriundo de diferentes fontes, o percentual de matéria-prima aproveitável para produção de biodiesel é variável. Silva (2012) afirma que, do óleo de fritura coletado, 7% é composto de impurezas sólidas, enquanto que, Moecke et al (2012) encontraram 3% de impurezas sólidas, e entre 20 a 30% de sal e água em seus experimentos, em uma unidade de processamento, quando proveniente de estabelecimentos gastronômicos. O óleo coletado de residências não apresentou sal e água em quantidades significativas (<2%).

Como o óleo de fritura foi arrecadado em estabelecimentos gastronômicos e em pontos de coleta onde a comunidade deposita esse resíduo, utilizando a separação no filtro decantador, obteve-se um percentual médio de 26,73%, valor condizente com a literatura supracitada.

4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS COMBUSTÍVEIS

Para as blendas feitas no experimento, foram obtidas as características físico-químicas médias das amostras e representadas na tabela 11. A densidade obtida para os percentuais de 100 % de OF e Bxx adicionados ao OD não ficou em conformidade com os limites estabelecidos por Brasil (2012) na Resolução nº 14 da ANP, que determina valores entre 0,85 e 0,90 g ml⁻¹. Tanaka (2007) comenta que, a densidade do óleo de soja in natura é de 0,92 g ml⁻¹, enquanto Queiroz (2011) obteve em seu estudo 0,918.

Com o processo de fritura, as propriedades do óleo são alteradas e a tendência é que sua massa específica aumente. Silva (2011) obteve em sua pesquisa uma densidade de 0,923 g ml⁻¹ para o óleo vegetal de fritura filtrado e desumidificado, o que comparado ao valor médio de 0,963 obtido no experimento, representa 4,15% a menos. Para as blendas de OD e OF

realizadas no experimento, a diferença percentual entre OF100 e OD100 é de 8,20%.

Tabela 11 – Propriedades físico-químicas médias para cada tratamento.

Propriedade	Densidade a 20 °C	Densidade a 20 °C	Viscosidade a 40 °C	Viscosidade a 40 °C	Poder calorífico	Poder calorífico
Unidade	(g/ml)	(g/ml)	(mm ² /s)	(mm ² /s)	(MJ/Kg)	(MJ/Kg)
Combustível	OD/OF	OD/Bxx	OD/OF	OD/Bxx	OD/OF	OD/Bxx
0%	0,888	0,884	2,963	2,963	42,458	42,900
10%	0,895	0,888	3,325	3,013	42,686	41,532
20%	0,902	0,892	4,547	3,173	42,321	41,505
30%	0,911	0,895	6,405	3,325	39,683	40,758
40%	0,918	0,899	7,483	3,381	39,566	40,558
50%	0,925	0,903	7,525	3,587	39,130	38,318
60%	0,931	0,907	11,387	3,901	37,988	38,553
70%	0,940	0,911	13,907	4,035	37,960	38,313
80%	0,949	0,915	18,643	4,280	37,897	37,749
90%	0,953	0,919	22,365	4,299	37,744	35,932
100%	0,963	0,924	29,365	4,827	36,063	35,912
Óleo Diesel*	0,850	-	3,04	-	42,192	-

*Diesel do tipo C, propriedades determinadas por. Laurindo, J.C, TECPAR.

Ao realizarmos o processo de obtenção do biodiesel, verificou-se que a diferença percentual das blendas de OD100 e B100 diminui para 4,33%. Contudo, a densidade obtida para B100 foi de 0,924 g ml⁻¹, valor superior ao limite estipulado. Rigotte (2014) cita que a densidade do biodiesel produzido de óleo de fritura é 0,878 g ml⁻¹, o que difere do valor obtido no experimento em 4,98%. O percentual máximo de OF que pode ser adicionado nas blendas para estar entre os limites estabelecidos pela ANP é de 10 %, sendo 40 % o percentual para Bxx.

Para a viscosidade cinemática característica do óleo de soja, o valor é de 36,8 mm² s⁻¹, segundo Tanaka (2007). Quando realizamos o processo de fritura dos alimentos, uma das características citadas por Silva (2011) é o aumento da viscosidade do óleo, tendo obtido 43 mm² s⁻¹. A viscosidade obtida no experimento para OF100 de 29,365 mm² s⁻¹, o que representa 31,71% a menos.

Conforme citado por Rigotte (2014), a viscosidade de biodiesel a partir de óleo de fritura é $4,02 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, o que comparada a $4,827 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ obtida no experimento para B100 equivale a 20,07 % a mais. Esse valor enquadra-se dentro os limites estipulados pela ANP (3,0-6,0).

Para atender as exigências da legislação, Macêdo et al. (2009) apontam misturar um biodiesel mais viscoso com outro de menor viscosidade, antes ou depois da transesterificação. A adição de maiores quantidades de álcool induzem a redução de triglicerídeos e conseqüentemente a viscosidade do biodiesel.

A consistência dos dados de poder calorífico inferior (PCI) obtidos por Guimarães et al (2013) em análise comparativa com o experimento realizado, para OF 100 foi plausível, tendo em vista que, respectivamente apresentaram $35,738$ e $36,063 \text{ MJ Kg}^{-1}$. O OD100 (testemunha) apresentou um PCI de $42,900 \text{ MJ Kg}^{-1}$, corroborando com dados da ANP (2011) de $42,218 \text{ MJ Kg}^{-1}$ e Mittelbach (1988) de $42,300 \text{ MJ Kg}^{-1}$.

Mittelbach (1988) ainda afirma que, o biodiesel de óleo residual de fritura apresenta um PCI de $37,50 \text{ MJ Kg}^{-1}$, o que difere em 4,23 % ao valor médio de $35,912 \text{ MJ Kg}^{-1}$ encontrado. Essa diferença representa uma menor quantidade energia liberada na combustão, o que em queimadores de óleo diesel utilizados em caldeiras, pressupõem uma quantidade maior de combustível necessária para elevar a mesma temperatura. Silva et al (2010) obtiveram para biodiesel de óleo de soja e de óleo residual de fritura, respectivamente, $36,3 \text{ MJ Kg}^{-1}$ e $35,58 \text{ MJ Kg}^{-1}$, muito similar ao obtido. Confrontando os dados do OF100 com B100, praticamente não existem diferenças significativas entre os PCI's (>0,5%), o que sugere que produzir biodiesel não torna o combustível mais energético.

Quando utilizadas outras matérias-primas para produção de biodiesel, Rossi, et al (1999), obtiveram para óleos de mamona, babaçu, dendê, algodão e pequi respectivamente $37,812$, $39,459$, $39,835$, $39,793$ e $40,086 \text{ MJ Kg}^{-1}$.

4.4 CONSUMO HORÁRIO VOLUMÉTRICO

Os valores médios de consumo volumétrico em litros por hora (Chv) das blendas de ODxx e OFxx, com e sem aquecimento, produzidas no experimento estão representados na figura 12.

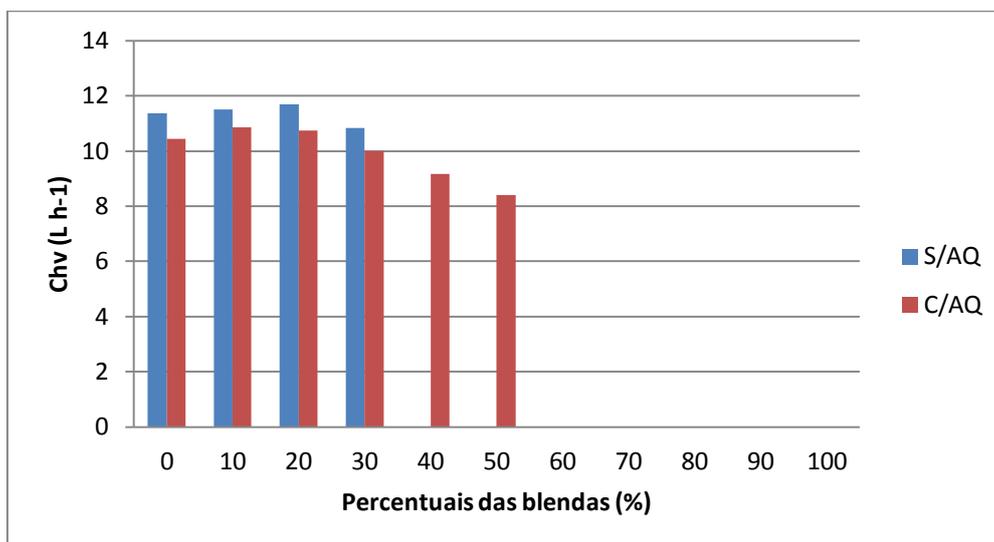


Figura 12 – Chv das blendas de OD e OF, com e sem pré-aquecimento.

Nas misturas de óleo de fritura com óleo diesel, utilizando o sistema sem o pré-aquecimento das misturas e temperatura média do combustível em 29,61°C, foram relatados aumentos de 1,16% e 2,68%, no consumo volumétrico de OF10 e OF20, respectivamente, em relação ao consumo de óleo diesel. Para OF30, ocorreu uma redução no consumo volumétrico de 4,80%, porém verificaram-se falhas de combustão no queimador devido à queima incompleta. Acima desse percentual, o queimador não se manteve em operação.

Nessas mesmas blendas, quando pré-aquecidas a uma temperatura média de 53,45°C, obteve-se um aumento de 3,75% e 2,74% no consumo volumétrico de OF10 e OF20, respectivamente, em relação ao consumo de óleo diesel. Considerando OF30, verificou-se a redução de 4,20% em relação ao consumo de diesel, no entanto não apresentou falhas de combustão, ocorridas para esse percentual sem o pré-aquecimento. Houve uma redução de 12,24% no consumo de OF40 comparado ao OD100, mas nesse percentual ocorreram falhas de combustão e houve a necessidade de ajustes de pressão

e entrada de ar no queimador, assim como para OF50, porém essa redução foi ainda mais expressiva (19,52%). Acima desse percentual, o sistema não se manteve em operação.

Confrontando os combustíveis OD e OF utilizados nos sistemas com e sem pré-aquecimento, encontramos uma redução percentual de 8,81%, 5,96%, 8,75% e 8,38% respectivamente, para OF0, OF10, OF20 e OF30. Ainda devido ao pré-aquecimento, misturas OF40 e OF50 mantiveram-se em funcionamento pelo queimador,

Na figura 13, estão demonstrados os dados do consumo volumétrico horário médio para as blendas de OD e Bxx. Considerando o sistema empregado sem o pré-aquecimento do combustível, com temperatura média durante a obtenção das amostras em 31,84°C, foram observados acréscimos no consumo de B10, B20 e B30 de 3,49%, 4,22% e 4,61% respectivamente, em relação ao B0, utilizado como testemunha. Esse percentual difere-se ainda mais no consumo do B70, em 6,37%, valor máximo ao qual o queimador não apresentou falhas de combustão. Nas misturas B80, B90 e B100 o queimador apresentou falhas de combustão, sendo obtido um consumo volumétrico do B100 em 4,22 % superior ao diesel. Tabile et al (2009) obtiveram um consumo volumétrico horário de biodiesel de mamona superior em 14,6% em relação ao diesel em um trator agrícola, enquanto Soranso et al (2008) encontraram uma diferença de 12,9 L h⁻¹ para diesel e 14,9 L h⁻¹ para biodiesel de óleo de fritura.

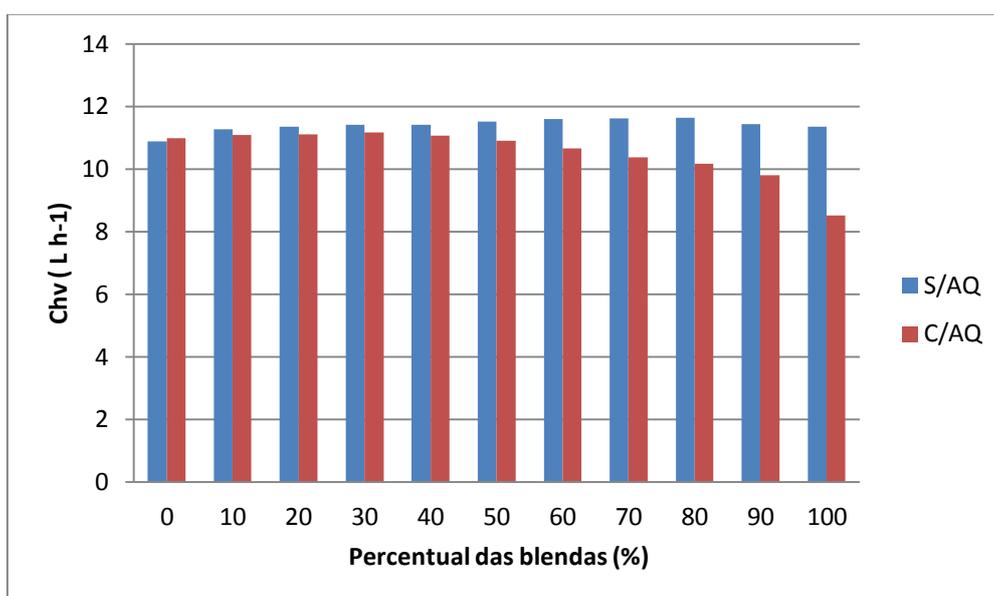


Figura 13 – Chv de blendas de OD e Bxx, com e sem pré-aquecimento.

Para o consumo volumétrico horário com o pré-aquecimento nas misturas OD e Bxx a uma temperatura média igual a 47,80 °C verificou-se que, de B10 a B100 o consumo volumétrico de biodiesel foi inferior ao de óleo diesel, sendo obtido um percentual de 29,02% de redução para B100. Comparando o consumo horário do B100, com e sem pré-aquecimento, apresentam uma diferença de 2,84 litros, enquanto que para o B50, apenas de 0,6 litros. Para B0, o efeito do pré-aquecimento foi reverso ao esperado inicialmente, pois seu consumo volumétrico horário foi 1,03% maior.

Para Nwafor (2004), um motor diesel alimentado por óleo de canola *in natura* apresenta um consumo específico maior que do óleo diesel, porém, aquecido a 80 °C, o consumo se torna similar ao do óleo diesel.

4.5 GANHO DE TEMPERATURA

A figura 14 evidencia os valores de ganho de temperatura na caldeira para as misturas de óleo diesel e biodiesel.

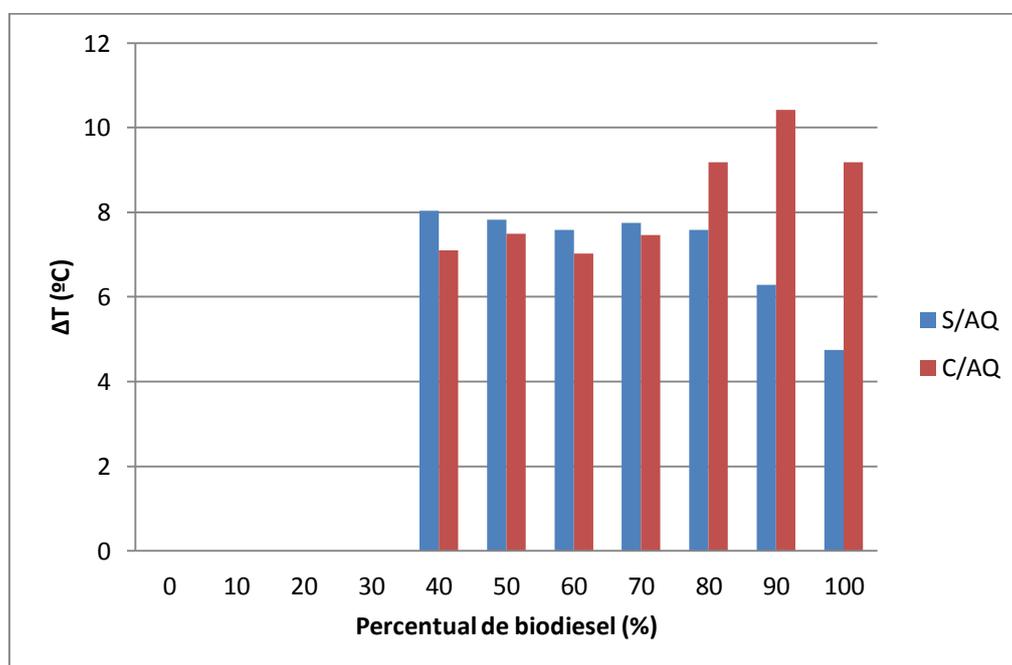


Figura 14 – Ganho de temperatura na caldeira.

Nos percentuais de 40 a 70, o pré-aquecimento do combustível influenciou negativamente em relação ao ganho de temperatura. Porém, em

percentuais de biodiesel acima de 80 foi superior, obtendo o máximo ganho para B90 pré-aquecido de 10,413 °C. Porém, a maior disparidade entre pré-aquecer ou não o combustível ocorreu no combustível B100, sendo de 9,19 °C e 4,747 °C respectivamente. Conforme Nogueira (2005), o calor útil em uma caldeira é a parcela de calor produzida pelo combustível que foi transferida para a água. Vários são os fatores que influenciam a troca de calor, como: As dimensões da caldeira, tipo de caldeira, potência do queimador, tipo de combustível utilizado, vazão de água e as perdas no sistema. Conforme Romanini (2010), a instalação de pré-aquecedores de ar representa em média, 1 % de economia de combustível para 22 °C de aumento da temperatura do ar e instalando economizadores, se obtém em média, 1 % de economia para cada 6 °C de elevação da temperatura de alimentação na caldeira.

4.6 CONSUMO VOLUMÉTRICO TÉRMICO

O consumo volumétrico em ml necessário nas misturas de OD e Bxx e OD e OF, para elevar 1°C de temperatura na caldeira é representado na figura 15.

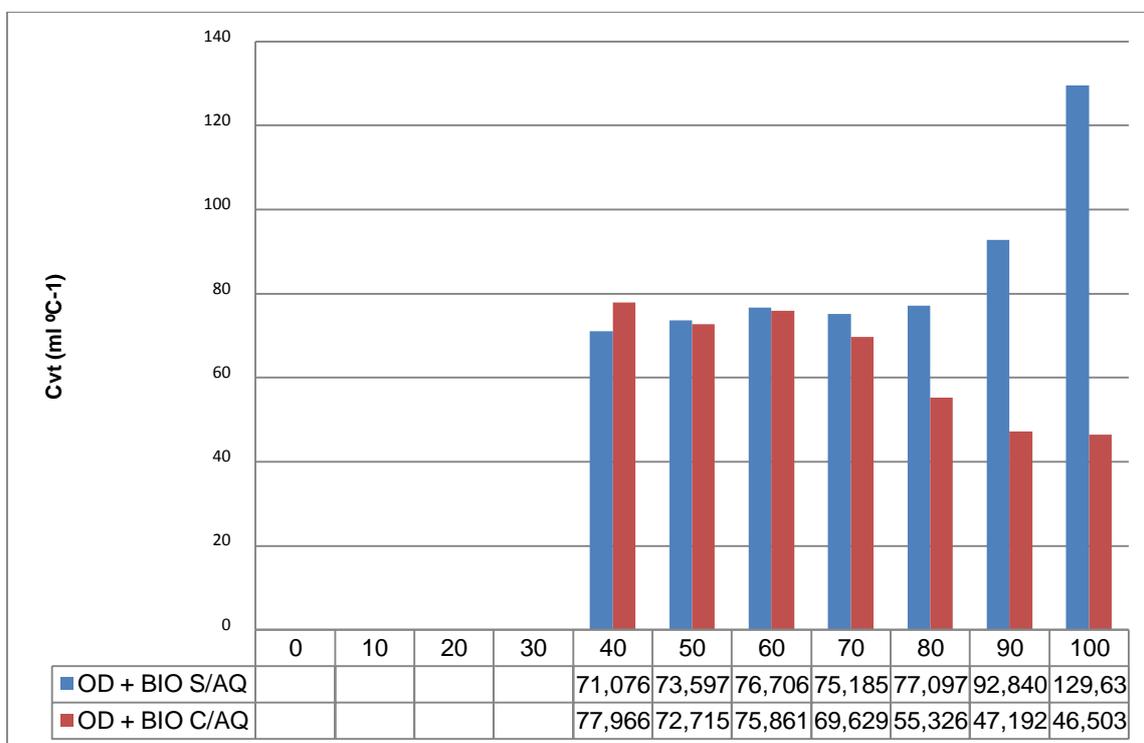


Figura 15 – Consumo volumétrico térmico

Os gráficos mostram que, no B40, o consumo volumétrico térmico foi menor sem o pré-aquecimento de combustível, diferindo em 8,84 pontos percentuais. Nos percentuais acima, observa-se uma inversão dessa tendência, aumentando exponencialmente o consumo nos tratamentos sem aquecimento, e também reduzindo de forma exponencial para os tratamentos com aquecimento. A maior discrepância ocorreu blenda B100, apresentando uma diferença percentual de 278,75 % no Cvt, fato este que foi justificado devido às diferenças na pressão e entrada de ar do queimador, citadas na metodologia do trabalho, assim como pela ocorrência de falhas de combustão em percentuais acima de 80 % para as misturas sem aquecimento.

4.7 CONSUMO ESPECÍFICO

Aplicou-se aos resultados obtidos um fatorial, para todos os tratamentos acima de B40. As médias que estão representadas na tabela 12. Para o CE nas misturas sem aquecimento, não houve diferença significativa em percentuais até B80. O CE nas misturas com aquecimento apresentou diferenças consideráveis entre os tratamentos no CE para B90 e B100, sendo este último 61,48 % inferior ao B40, onde o CE foi de 0,2508 Kg KW h⁻¹.

Tabela 12 – Comparativo entre médias de tratamentos utilizando fatorial.

Tratamentos	CE (Kg KW h ⁻¹) S/AQ	CE (Kg KW h ⁻¹) C/AQ
B40	0,2313 aA	0,2508 aA
B50	0,2406 aA	0,2347 aA
B60	0,2519 aA	0,2461 aA
B70	0,2480 aA	0,2272 aA
B80	0,2554 aA	0,1811 aA
B90	0,3091 aA	0,1551 aB
B100	0,4342 bA	0,1542 aB
Média Blocos	0,28148 a	0,20701 b
DMS Bloco	0,02851	
DMS Colunas (minusc.)	0,1166	
DMS Linhas (maiusc)	0,0754	
CV (%)	18,45 %	

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas diferem pelo Teste de Tukey a 5 % de significância.

Comparando os tratamentos com e sem aquecimento para os mesmos combustíveis, as misturas B90 e B100 apresentaram diferenças consideradas significativas. Porém para essa mistura, a diferença percentual é de 281,58%. Considerando a média de todos os tratamentos, o simples fato de pré-aquecer o combustível resulta em uma redução de 26,46 % no consumo específico. O gráfico exposto na figura 16 melhor caracteriza esses resultados obtidos no experimento.

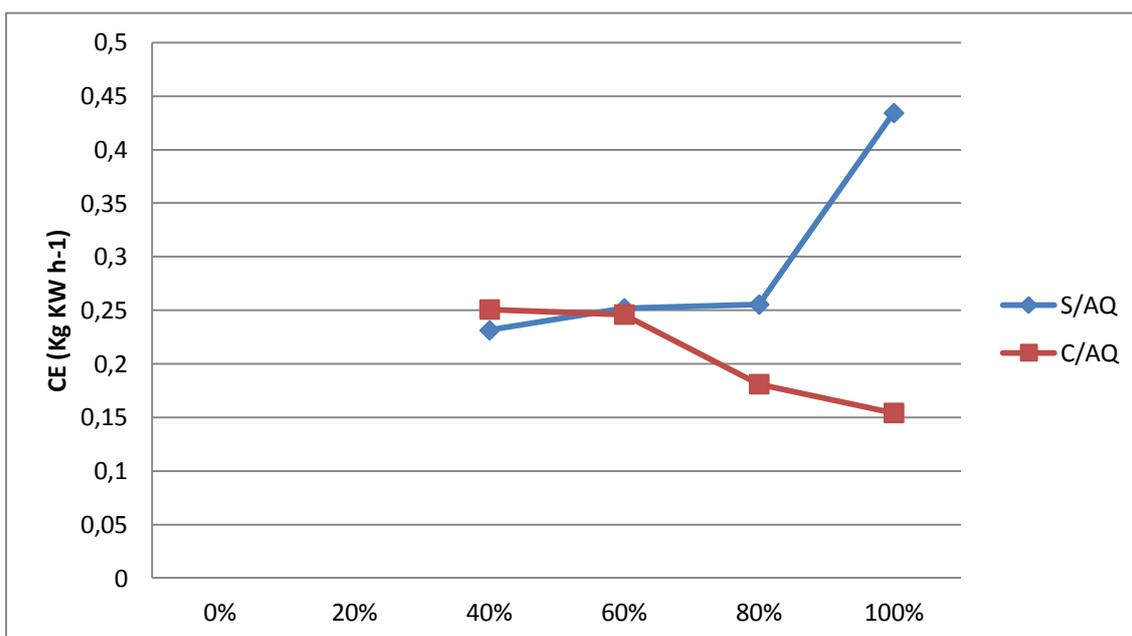


Figura 16 – Consumo específico para os diferentes tratamentos

Conforme manual do fabricante do queimador, o CE considerando a máxima potência fornecida equivale a 0,085 Kg KW h⁻¹. Comparando com a mistura de menor CE para B100 que é 0,154 Kg KW h⁻¹, verificou-se uma diferença percentual de 55,54%.

Analisando o desempenho de um trator agrícola com blendas de diesel fóssil e biodiesel de mamona, Tabile et al. (2009) verificaram que em uma carga de 13 KN, o CE foi de 0,456 Kg KW h⁻¹ e aumentando essa carga para 23 KN, o CE diminuiu para 0,358 Kg KW h⁻¹, enquanto Rojas-González et al. (2011) observando os efeitos de biodiesel de óleo residual de fritura, mamona e dendê sob diferentes cargas em motor-gerador verificaram uma relação diretamente proporcional, de 0,131 Kg KW h⁻¹ com uma carga de 0,54 KW e 0,174 Kg KW h⁻¹ com uma carga de 2,41 KW.

Branco (2011) também relata que, a carga térmica em fornalhas utilizando queimadores em caldeiras, com capacidades entre 2 a 30 ton de óleo pesado ou gás é de 1,35 MW a 1,55 MW, o que em uma aplicação em fornalha representa 140 Kg/m³ de óleo combustível.

4.8 EMISSÃO DE GASES

4.8.1 Emissões de CO₂ e O₂

Na figura 17 estão representados os resultados de emissões de O₂ e CO₂ das blendas de OD e OF, sem aquecimento do combustível. Observa-se que o valor máximo percentual de emissão de CO₂ das blendas de OD e OF ocorreu a 10%, com valor médio das amostras de 8,567%. Para essa mesma blenda utilizando o pré-aquecimento, o percentual de CO₂ foi de 5,867, o que corresponde a 68,48%, conforme representação na figura 18.

Gonçalves (2008) encontrou em motor do ciclo diesel com sistema de injeção eletrônica 4% de emissão de CO₂, utilizando óleo de girassol *in natura*, enquanto que para óleo de fritura esse percentual é pouco maior, sugerindo que em queimadores, a emissão de CO₂ é significativamente maior, o que se traduz em uma melhor combustão.

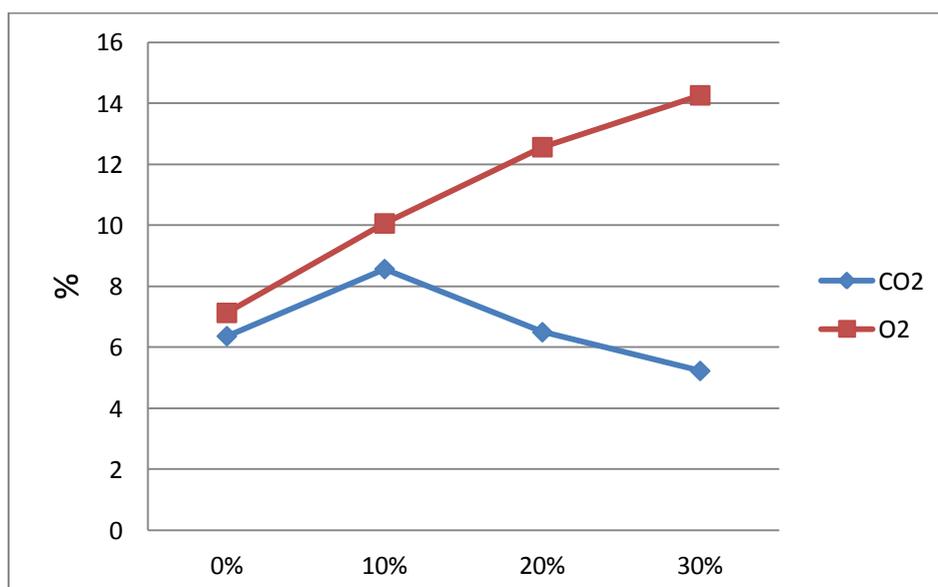


Figura 17 – Percentual de CO₂ e O₂ para as blendas OD e OF sem aquecimento

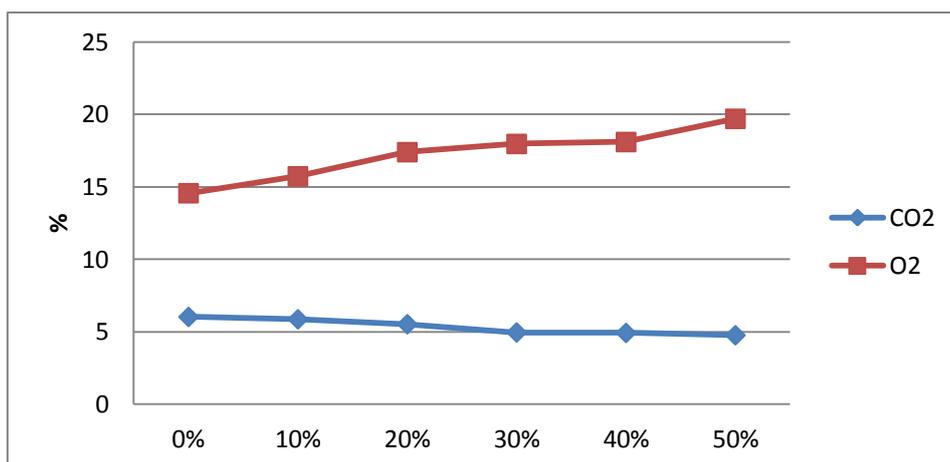


Figura 18 – Percentual de CO₂ e O₂ para as blends OD e OF com aquecimento

Nas figuras 19 e 20 são demonstradas as emissões de CO₂ e O₂ para as misturas de OD e Bxx, sem aquecimento e com aquecimento dos combustíveis.

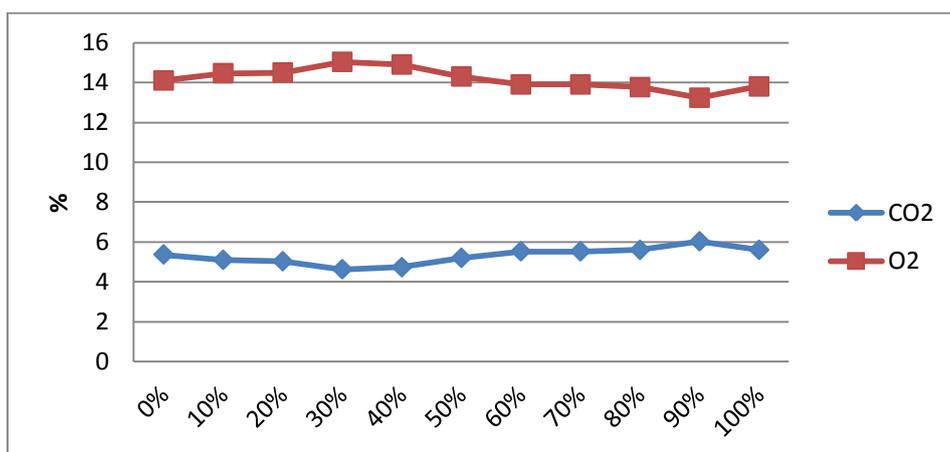


Figura 19 – Percentual de CO₂ e O₂ para as blends de OD e Bxx sem aquecimento

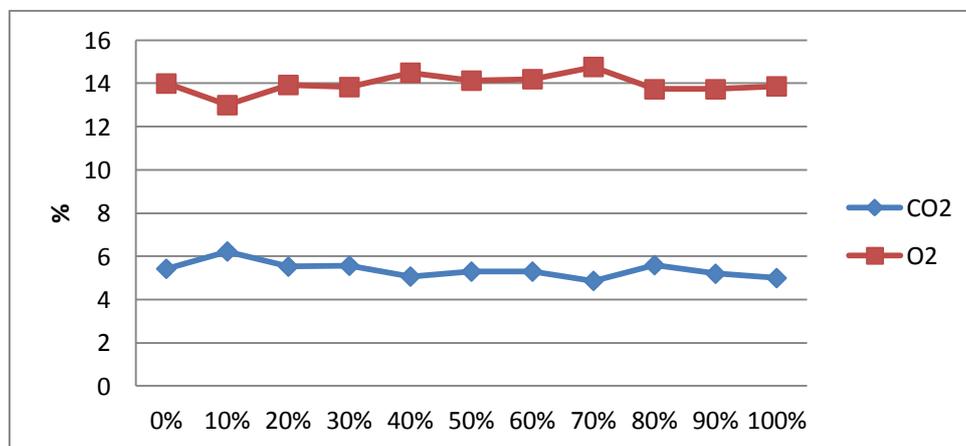


Figura 20 – Percentual de CO₂ e O₂ para as blends de OD e Bxx com aquecimento.

Comparando as misturas de OD e Bxx, verificou-se o menor percentual de emissão de CO₂ para 30% sem aquecimento, de 4,63% e o maior percentual com aquecimento ocorreu em 90%, de 6,03%, valores estes de baixo percentual caracterizando uma combustão incompleta, o que segundo Romancini (2010), deve-se situar entre 11 e 13,5 % em queimadores. Esses valores podem ser alterados de acordo com o tipo de caldeira, do queimador e do combustível.

4.8.2 Temperatura de escape

A figura 21 relata as temperaturas médias de escape, aferidas na chaminé da caldeira. Observou-se tanto nas blendas de OD e OF, como nas blendas de OD e Bxx que, o pré-aquecimento do combustível resultou em uma temperatura de escape maior. As médias de temperatura para os tratamentos OD + OF com e sem aquecimento, em todos os percentuais de mistura foram 183,22 °C e 153,57 °C respectivamente, enquanto que para as misturas de OD e Bxx foram de 179,96 °C e 172,63 °C.

Conforme Brambila (2007), em ensaios realizados em um motor a óleo diesel, a temperatura de escape à plena carga foi de 488,4 °C a 1206 rpm, porém em 3800 rpm foi de 616,3 °C. Ainda segundo o mesmo autor, utilizando apenas 25 % da carga, as temperaturas de escape foram de 215,1 °C e 333,9 °C, respectivamente a 1208 e 3800 rpm.

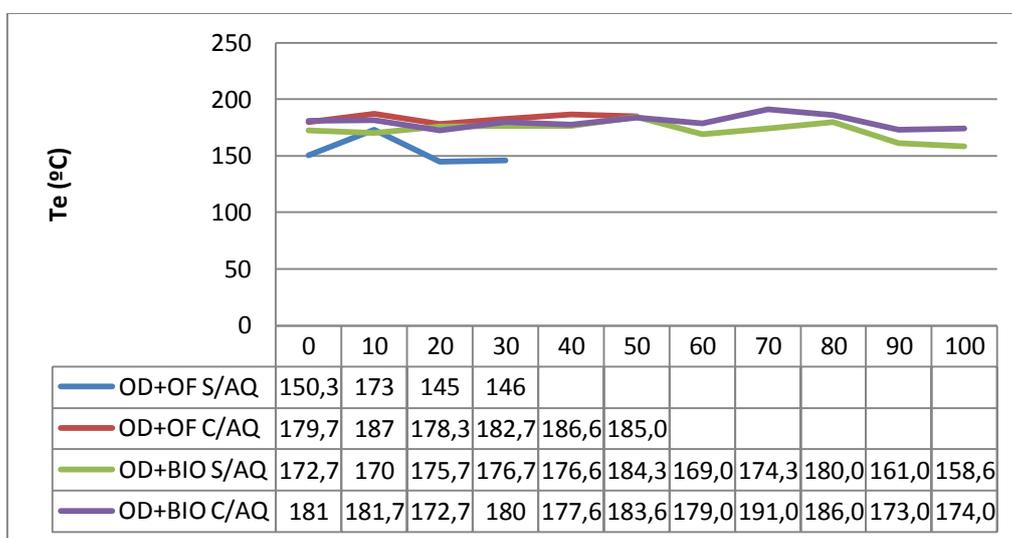


Figura 21 – Temperatura de escape

Segundo Romanini (2010), caldeiras mais eficientes apresentam uma menor temperatura de escape, chegando a 200 °C nas flamotubulares e pouco menos em aquotubulares. As elevadas temperaturas de exaustão e a queima incompleta são as principais causas de perda de energia em caldeiras. Podem-se determinar essas causas verificando o teor de dióxido de carbono (CO₂) e a temperatura de escape, buscando manter o teor de CO₂ o mais elevado o possível sem que ocorra a emissão de fumaça densa na chaminé. Com esse aumento ocorre uma redução do excesso de ar de combustão. Porém, a redução do ar de combustão provoca um aumento da emissão de monóxido de carbono (CO), materiais particulados (MP) e escurecimento da fumaça, o que induz a um ponto ótimo de operação entre a eficiência e as emissões.

4.9 EFICIÊNCIA TÉRMICA

Na figura 22, são representadas as médias de eficiência térmica encontradas no experimento, assim como as linhas de tendência e as equações nos sistemas com/sem pré-aquecimento. Detectou-se que, utilizando o pré-aquecimento do combustível, em misturas acima de 50 %, a eficiência é maior do que o não aquecimento.

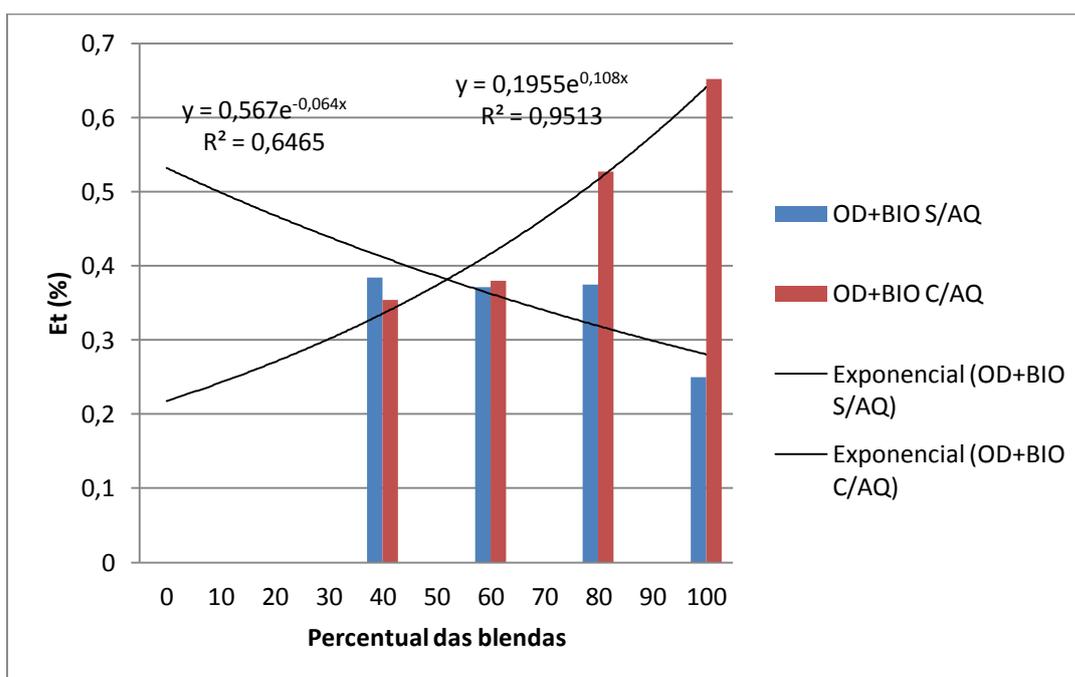


Figura 22 – Eficiência térmica das misturas com e sem pré-aquecimento

O melhor percentual de eficiência obtido utilizando B100 foi de 65,20%. Em uma mistura B80, valor ao qual a combustão de combustível apresentou falhas no sistema sem aquecimento, a eficiência térmica é aumentada em 40,71%, se comparado com o pré-aquecimento do combustível. Faulkner (1981) comenta que em queimadores a gás, 64 % da energia térmica de entrada é transferida para as paredes da caldeira, enquanto em queimadores a óleo diesel se obtém 78 % da energia transferida, o que evidencia a baixa eficiência no sistema implantado. Porém, a utilização do pré-aquecimento resulta em uma melhora expressiva na eficiência térmica.

Outras medidas podem ser adotadas buscando melhorar a eficiência. Em alguns modelos de queimadores, se obtém uma temperatura de escape 45 °C superior à temperatura da água na caldeira, conforme manual da caldeira Steammaster (2010) para 100 % de carga, ao qual no sistema existente é de 58 °C, o que representa uma diferença de 88 °C em relação à máxima temperatura de escape obtida na mistura B70 com aquecimento. Isso resulta em uma melhoria de eficiência de 17,60 % considerando 1% de melhoria a cada 5 °C de redução na temperatura de escape, supracitado pelo mesmo autor.

O excesso de ar também representa fator determinante para melhoria da eficiência de combustão. Conforme Monteiro Junior (2008), esse fator controla o volume, a temperatura e a entalpia dos produtos de combustão. Um grande excesso de ar é indesejável, pois diminui a temperatura da chama e aumenta as perdas de calor, o que resulta em menor eficiência térmica. Em contra-partida, um baixo excesso de ar resulta em uma combustão incompleta e aumento na emissão de CO, fuligem e fumaça, o que acarreta a acumulação de combustível não queimado. A elevação da temperatura do ar através de pré-aquecedores também melhora a eficiência entre 2 a 5 %, conforme Eletrobrás (2010). A eliminação de vazamentos, os defeitos em purgadores, o aumento da temperatura da água de alimentação utilizando economizadores são entre outras, medidas que podem ser acrescentadas a instalação que resultam em uma melhor eficiência, ainda conforme o mesmo autor. Para Steammaster (2010), as especificações dos combustíveis, a temperatura do ar ambiente e as perdas por radiação e convecção na caldeira também são fatores determinantes para eficiência.

Nas figuras 23 e 24 estão representados comparativos do CE e Et, sem e com aquecimento.

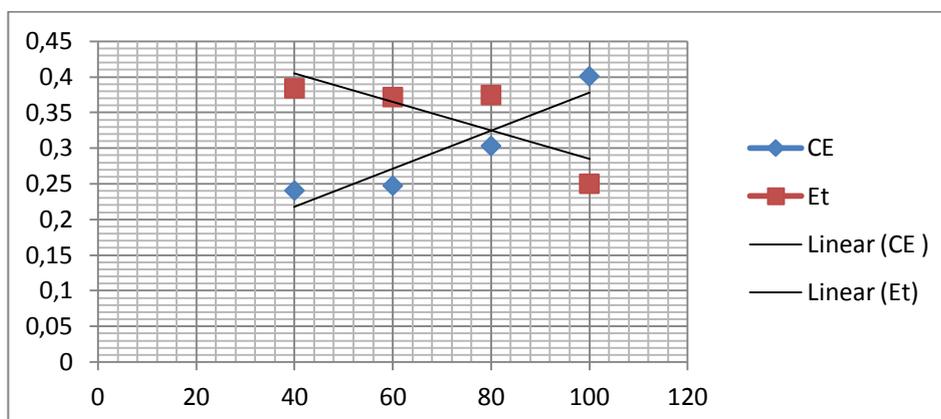


Figura 23 – Comparativo CE x Et, nas blindas de OD e Bxx, sem aquecimento.

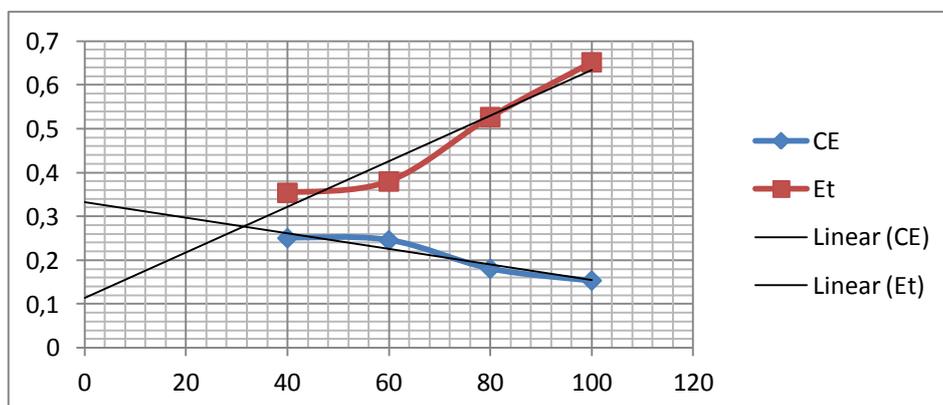


Figura 24 – Comparativo CE x Et, nas blindas de OD e Bxx, com aquecimento.

Nota-se que, a eficiência aumenta significativamente quando o CE tende a diminuir. Um baixo CE resulta em uma menor quantidade de massa necessária para fornecer 1 KWh de potência. Obteve-se uma melhor eficiência em B100 (65,2%) para um CE nesse percentual de $0,154 \text{ Kg KW h}^{-1}$.

5. CONCLUSÕES

Para todos os procedimentos realizados, foi possível observar de forma sucinta que:

- O óleo de fritura tem grande potencial de oferta. Porém, parte do que é coletado é composto de água e impurezas;
- A produção de biodiesel de óleo de fritura é uma atividade sustentável e ecologicamente correta;
- A densidade do óleo diesel é menor que do óleo de fritura e do biodiesel;
- A viscosidade do óleo de fritura é muito superior que do biodiesel;
- O poder calorífico inferior (PCI) é maior para o óleo diesel do que para o óleo de fritura e para o biodiesel;
- Em queimadores, foi possível utilizar as misturas de óleo diesel e óleo de fritura, sem e com pré-aquecimento, em percentuais de 30% e 50% respectivamente, enfatizando que causa problemas de combustão e nos equipamentos, além da grande emissão de poluentes;
- Em queimadores, foi possível utilizar as misturas de óleo diesel e biodiesel de óleo de fritura, sem aquecimento, em percentuais de até 80% (B80) sem falhas de combustão e, com pré-aquecimento, não apresenta falhas em nenhum percentual;
- O pré-aquecimento de combustíveis diminui o Chv e o CE, o que melhora a eficiência térmica;
- A utilização de capa térmica na piscina, ajuste adequado da pressão e da entrada de ar e o aproveitamento do calor perdido na chaminé são, entre várias outras, medidas adotadas que melhoram a eficiência do sistema.

6. PERSPECTIVAS E SUGESTÕES

O trabalho demonstrou que o óleo de fritura tem grande potencial energético. Com a transesterificação dessa matéria-prima, pode ser empregado em queimadores em percentuais até 80 % sem problemas de combustão. Além disso, se pré-aquecido, o consumo de combustível é reduzido significativamente e apresenta uma transferência de calor elevada, o que melhora a eficiência global do sistema, o que sugere estudos sobre implantação de programas de coleta e produção de biodiesel.

Também como sugestão a trabalhos futuros, podem-se utilizar diferentes temperaturas de pré-aquecimento para queimadores, visando obter o valor de melhor eficiência. Também poderão ser testados equipamentos que melhoram a eficiência, como economizadores, pré-aquecedores do ar de entrada no queimador, entre outros.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUD, A. K., **Determinação da densidade**, UFAL, Maceió, 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAavLOAH/determinacao-densidade>> Acesso em: 09 de fevereiro de 2015.

ABUSIAUX.; et al. **Energy exploitation**, 1983. P.143.

AGE, J. S. S. e DONNINI, S. M. apud COSTA **Óleo de fritura usado: O que fazer?** Notícia publicada em 15/08/06, Universidade Estadual Paulista – UNESP, São Paulo. Disponível em: <http://www.sorocaba.unesp.br/noticias/artigos/?a=48>>. Acesso em 09 de agosto de 2014.

ALMANZA, R., LARA. J. **Energy requirements for a swimming pool through a water atmosphere energy balance**, 1994. Solar energy, vol. 53. P. 37-39. Disponível em: <http://www2.feb.unesp.br/pos/seminario/VSeminaro/anais/AC-AndersonThiagoPontesStefanelli.pdf>. Acesso em: 09 de agosto de 2014.

ALMEIDA, J. A. N.; NASCIMENTO, J. C.; SAMPAIO, L.A. G.; CHIAPETTI, J.; GRAMACHO R.S.C; N.S. e ROCHA, V.A. **Projeto Bio-Combustível: processamento de óleos e gorduras vegetais in natura e residuais em combustível tipo diesel**, Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, Ilhéus – BA. Disponível em: <http://www.uesc.br/ecodiesel/trab_completos/Agrenercompleto2000.pdf> Acesso em: 09 de agosto de 2014.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e biocombustíveis. **Biocombustíveis**, 2012. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 03 de agosto de 2014.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e biocombustíveis. **Boletim mensal do biodiesel**, 06/2014. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 08 de agosto de 2014.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e biocombustíveis. **Fatores de conversão, densidades e poderes caloríficos inferiores**. 2011. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 28 de janeiro de 2015.

BEN – Balanço Energético Nacional. **Relatório síntese, ano base 2013**. Maio de 2014. Organizado por EPE – Empresa de Pesquisa Energética. TOLMASQUIM, M. T. Acesso: 03 de agosto de 2014.

BILLEK, G. et al. **Heated fats in the diet. The role of fats in human nutrition**. Chichester, Ellis Horwood ,1985. p. 163-71. Disponível em: http://oleo.ufla.br/anais_06/artigos/568.pdf. Acesso em: 07 de agosto de 2014.

BIOCOMBUSTÍVEIS. **Perguntas e respostas sobre este novo mercado**. Rio de Janeiro: [S.n], 2007. p 50. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/Petrobras/português/pdf/Cartilha_Biocombustíveis.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2008.

BONFIM, B. **Temperatura ideal do motor a diesel**, 2012. Disponível em: <http://brunobonfimlopes.blogspot.com.br/2012/02/temperatura-ideal-do-motor-diesel.html>. Acesso em: 09 de agosto de 2014.

BORETTI A. **Comparison of fuel economies of high efficiency diesel and hydrogen Engines powering a compact ear with a fly whe el based kinetic energy recovery Systems**. Int J Hydrogen Energy, Australia, p. 8417-8424, Maio de 2010.

BRAMBILA, J. A. **Estudo experimental e simulação termodinâmica de desempenho em um motor de combustão interna operando com óleo diesel e etanol**. USP – São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-22072007-232436/pt-br.php>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2015.

BRANCO,W. **Eficiência em processos de combustão á gás**, ZETEC, São Paulo, 2011. Disponível em: http://www.gasescombustiveis.com.br/encontroglp/PALESTRAS/WAGNER_BRANCO/EFICIENCIA_PROC_COMBUSTAO_GAS_WAGNER_BRANCO.pdf. Acesso: 10 de fevereiro de 2012.

BRASIL, Resolução ANP nº 14, de 11 de maio de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF. 18 de maio, 2012.

BRASIL, Resolução CNP nº6, de 25 de junho de 1970 – 1521ª Sessão Ordinária. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 jun. 1970.

BRAUN,S., APPEL.L.G., SCHMAL, M., **A Poluição Gerada por Máquinas de Combustão Interna Movidas à Diesel - A Questão dos Particulados. Estratégias Atuais para a Redução e Controle das Emissões e Tendências Futuras**, Química Nova, Vol. 27, No. 3, 472 - 482, 2003.

CACIAM, A.C. Efeito da temperatura na viscosidade de óleos vegetais refinados. **Revista Exact Earth Science**, UEPG – Ponta Grossa, 2010.

CANAKCI, M.; **The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks**. *Bioresource Technology*, v. 98, n. 1, p. 183-190, Maringá, 2007. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewFile/8823/8823> Acesso em: 08 de agosto de 2014.

CARVALHO, C. H. R., **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**, IPEA, Brasília, 2011. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf. Acesso em: 15 de fevereiro de 2015.

CHRISTOFF,P; **Óleo Residual de Fritura da Associação vira Combustível (Biodiesel)**, UNIFAE, 2006. Disponível em: <http://www.fae.edu/intelligentia/includes/imprimir.asp?InglIdNotic>

ia=90072> Acesso: 07 de agosto de 2014.

COSTA NETO, P. R.; FREITAS, R. J. S. **Boletim CEPPA**. 1996.

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, Curitiba, 1999.

COSTA, B. J.; OLIVEIRA, S. M. M. **Dossiê técnico: óleo de soja**. Curitiba: [S.n.], 2006.

27 p. Disponível em: <www.sbvt.ibict.br>. Acesso em: 15 de agosto de 2014.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Biodiesel: Inovação para sustentabilidade**, 2003. Disponível em:

www.infoteca.cnptia.embrapa.br/.../biodieselinovacaoparasustentabilidade>. Acesso em: 09 de agosto de 2014.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Rondônia. **Alternativas para redução das queimadas no estado de Rondônia**. Boletim técnico. Organizador: Ricardo Gomes de Araújo Pereira. 2001. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/984088/1/Foldertracaoanimal.pdf>>. Acesso em: 02 de agosto de 2014.

EPE – Empresa Brasileira de Pesquisa Energética. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis**. 2010. Disponível em:

<<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/3078/1/BiodieselOleoResidual.pdf>> Acesso em: 09 de agosto de 2014.

FERRARI, R. A. et al. **Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização fisicoquímica e consumo em gerador de energia** . Paraná: Quim. Nova, Vol. 28, No. 1, 19-23, 2005.

FAULKNER, E. **Guide to efficient burner Operation: gás, oil, dual fuel, The Farmount Press**, 1981. Disponível em: <<http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage>> Acesso em: 06 de agosto de 2014.

FILHO, G. A. et al. **Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 333-339, março, 2010.

FUNVERDE. **Projeto de lei para tratamento e destinação final diferenciada de resíduos especiais**, 2014. Organizador: Luiz Eduardo Cheida. Disponível em: <<http://www.funverde.org.br/blog/projeto-de-lei-para-tratamento-edestinacao-final-diferenciada-de-residuos-especiais/>>. Acesso em: 05 de agosto de 2014.

GRABOSKI, M. S.; McCORMICK, R. L. **Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines**. Progress in Energy and Combustion Science, v. 24, n. 125, p. 164, 1998.

Disponível em:

<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewFile/8823/8823>>

Acesso: 08 de agosto de 2014.

GRUNKRAUT, M. **Gás metano**. Copermiti, 2008. Disponível em: http://www.coopermiti.com.br/coopermiti_admin/pdfs/d6c6f1f63b347a6489d661c14b9282a2.pdf. Acesso em: 08 de agosto de 2014-08-08

GUIMARÃES, R. et al, **Avaliação de tipos de pré-tratamento de óleo usado de fritura para produção de biodiesel**, Revista de Externsão e Iniciação Científica SOCIESC – REIS, 2013.

HOCEVAR, L. **Biocombustível de óleos e gorduras residuais – a realidade do sonho**. Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel (2: 2005 : Varginha, MG). Anais do II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Biodiesel: Combustível ecológico / editores Pedro Castro Neto, Antônio Carlos Fraga. -Lavras : UFLA, 2005. 988 p. : il.

IAPAR. **Médias Históricas em estações do IAPAR**, 1998. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1070>>. Acesso em: 05 de agosto de 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World oil supply and demand**. 2005. Disponível em: <http://omrpublic.iea.org/omrarchive/11mar05tab.pdf#search=%22%22world%20oil%20supply%20and%20demand%22%22>>. Acesso: 03 de agosto de 2014

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual do Biodiesel**. São Paulo: Blücher, 2006. 352 p.

KUCEK, K. T. **Otimização da Transesterificação Etilica do Óleo de Soja em Meio Alcalino**. 2004. 123 f. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica) Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LASAPE, Laboratório de Síntese e Análise de Produtos Estratégicos, URFJ. **Síntese do biodiesel metílico por catálise heterogênea**, 2014. Disponível em: <http://www.lasape.iq.ufrj.br/biodiesel.html>. Acesso em: 08 de agosto de 2014.

KERDNA Produção Editorial LTDA. **Clima Região Sul**. Disponível em: http://regiao-sul.info/mos/view/Relevo_e_Clima/>. Acesso: 09 de agosto de 2014

LÔBO, I.P.; FERREIRA, S.L.C. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

LUND, J. W. **Design considerations for pools and spas (natatoriums)**. Geo-Heat Center, GHC Bulletins, September, 2000. Disponível em: http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00561.pdf.> Acesso em: 09 de agosto de 2014.

MACÊDO, L.S. et al. **Produção de biodiesel a partir de misturas de óleo de mamona e óleo de babaçu com metanol via catálise alcalina**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, VIII, Uberlândia, 2009. Disponível em: <http://www.cobequic2009.feq.ufu.br/uploads/media/87022291.pdf> Acesso. em: 27 de janeiro de 2015.

MACHADO, P. R. M. **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço da injeção**, Tese de doutorado, UFSM, 2008. Disponível em:

http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2056. Acesso em: 09 de agosto de 2014.

MARZZOCO, A., TORRES, B.B. **Bioquímica Básica**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1990, 232 p.

MALUF, C. A.; PRADO, R. T. A. **Desempenho energético e caracterização dos sistemas de aquecimento de água de piscinas**, USP, São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00561.pdf. Acesso em: 09 de agosto de 2014.

MEHER, L.C., SAGAR, D.V., NAIK, S.N., **Technical aspects of biodiesel production by transesterification** – a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. V.10.p.248-268, 2006.

MITTELBACH, M.; TRITTHART, P; AM. **Oil Chem. Soc.** 1988, 65, 1185.

MOECKE, E. H. S., GELSLEICHTER, Y. A., AVILA, A. F. A., SILVEIRA. T. C., **Produção de biodiesel a partir do óleo de fritura usado e o empoderamento da comunidade**, UNISUL, *Revista Gestão Sustentável Ambiental*, Florianópolis, v.1, n.1, p.33-40, Abr/Set. 2012.

MONTEIRO JUNIOR, O. C., **Estudo do controle de emissões de poluentes em caldeiras de alta pressão com queimadores convencionais, abordagem da eficiência versus custo do dano**, UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

NATIONAL BIODIESEL BOARD. Use to biodiesel. USA, 2014. Disponível em: <<http://www.biodiesel.org/home>>. Acesso em: 04 de agosto de 2014.

NOGUEIRA, L. A. **Eficiência Energética no uso de vapor**. PROCEL/ELETROBRÁS, Rio de Janeiro, 2005.

NWAFOR, O. M. I. **The effect of elevated fuel inlet temperature on performance of diesel engine running on meat vegetable oil at Constant speed conditions**. *Renewable Energy*, v. 28, n.2, p.171-181, 2003

ODUM, H.T. **Environment, Power and Society**. New York: Wiley - Interscience, 1971. p.26-49.

OLIVEIRA, L. B., ROSA L. P. **Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits**. *Energy Policy*, v.31, p.1481–1491, 2003.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**, Fortaleza:[S.n.],2003. 66 p. Disponível em: <<http://www.tecbio.com.br/artigos/Livro-Biodiesel.pdf>>. Acesso em: 04 de agosto de 2014.

PETERSON, C. L. *et al.* **Ethyl ester of rapeseed used as a biodiesel fuel – a easy study**. *Biomass and bioenergy*, v.10, n 5/6, p.331-336, 1996.

PETROBRÁS. **Óleodiesel**, 2013. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/produtos/automotivos/oleo-diesel>>. Acesso em: 03 de agosto de 2014.

PORTAL DO BIODIESEL, **Motor Diesel**, 2012. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/motor-diesel/motor-diesel.html>>. Acesso em: 08 de agosto de 2014.

QUEIROZ, D.S. **Transesterificação de triacilglicerol de óleo de milho e soja: Análise quimiométrica do processo e propriedades físico-químicas essenciais do produto, para uso como combustível**. Doutorado, Programa Multi-Institucional de Doutorado em Química da UFG/UFMS/UFU, Uberlândia, 2011.

RAMOS, L.P.;KNOTHE,G; VAN GERPEN, J & KRAHL,J. **Manual do Biodiesel**, 1ª ed, São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

RIBEIRO, L.D. et al. **Cálculo de viscosidade de misturas não eletrolíticas**. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2005, Campinas. Disponível em: <<http://www.feq.unicamp.br/~cobeqic/ttd07.pdf>> . Acesso em: 07 de agosto 2014.

RIGOTTE, M.R. **Desempenho de conjunto motor-gerador utilizando biocombustíveis sob cargas variadas**. UNIOESTE, Cascavel, 2014.

ROMANINI, E. G. **Manual Elektro de Eficiência Energética**. PROCEL/ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: http://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/GERACAO_DE_VAPOR_E_CALOR.pdf. Acesso em: 09 de fevereiro de 2015.

ROSSI, L.F.S.; NETO, P.R.C., ZAGONEL, G.F., RAMOS,L.P., **Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras**, CEFET – PR, UFPR – PR, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2654.pdf>> Acesso em: 28 de janeiro de 2015.

R. GARRET, C. GRISHAM, **Biochemistry**, 3ª edição, New York, 2008, ISBN: 0534490336. Acesso em: 03 de agosto de 2014.

RHOPOINT, Components. **Datasheet PT – 100**, Germany, 2003. Disponível em: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/157816/RHOPOINT/PT100.html>>. Acesso em: 05 de agosto de 2014.

ROMANINI, E. G. **Manual Elektro de Geração de Calor e Vapor**. PROCEL/ELETROBRÁS, 2010. Disponível em: <http://www.elektro.com.br/sustentabilidade/programa-de-eficiencia-energetica>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2015.

SAMPAIO, S; **Piscinas aquecidas**, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://piscina-piscinas.blogspot.com.br/2011/09/piscina-aquecida-para-o-inverno.html>. Acesso em: 09 de agosto de 2014.

SERFATY, R; **Combustão e queimadores**, PETROBRÁS, 2007. Disponível em: <xa.yimg.com/kq/.../Caldeiras-Combustão+e+Queimadores%5B1%5D.pdf>. Acesso em: 06 de agosto de 2014.

SILVA, B. G., **Sabão de sódio glicerinado: Produção com óleo residual de fritura**, FAACZ, Aracruz, ES, 2010.

SILVA, M.J. da et al. **Motor gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 320-326, 2012.

SILVA, P.R.F.; FREITAS, T.F.S. **Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível**. Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.3, p. 843-844, maio-junho, 2008.

SILVA, T.A.R. **Biodiesel de óleo residual: Produção através da transesterificação por metanólise e etanolise básica, caracterização físico-química e otimização das condições reacionais**, UFU, Uberlândia, 2011.

SPARLING. **Datasheet Flowmeter Technical Specifications**, LSF SPARLING/Oval M-III, 2002. USA, El Monte, CA. Disponível em: http://www.sparlinginstruments.com/pdf/PDS_LSF.PDF. Acesso em: 05 de agosto de 2014.

SOARES, R. W. e PINTO, F. V., **Boletim Mensal do Biodiesel**, ANP, junho de 2014.

SORANSO, A.M.; FILHO, A.G.; LOPES, A.; SOUZA, E. G.; DABDOUB, M. J.; FURLANI, C.E.A.; CAMARA, F.T., **Desempenho dinâmico de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado de óleo residual**, Rev. Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental, v.12, n.5, p.553-559, 2008. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>. Acesso em: 29 de janeiro de 2015.

STEAMMASTER, **A eficiência de uma caldeira fogotubular não é um cálculo misterioso**, 2010. Disponível em: www.steammaster.com.br. Acesso em: 24 de fevereiro de 2015.

TANAKA, D.B. **Otimização do projeto de gerador de vapor que utiliza biodiesel**, 2007. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/Artigos/Art_TCC_014_2007.pdf>. Acesso em: 08 de agosto de 2014

TABILE, R.A.; LOPES, A.; DABDOUB, M.J.; CAMARA, F.T.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P., **Biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola**, Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental, v.29, n.3, p.412-423, jul/set.2009. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/1875/S0100-162009000300008.pdf?sequence=1>>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.

TAVARES, R. **Apostila de práticas – Físico-química**. UFCE. Disponível em: <http://www.labufc.com.br/arqs/Apostila_FQII.pdf. Acesso em: 09 de fevereiro de 2015.

TEIXEIRA, C.L. **Produção de biodiesel**. Informe Agropecuário, v. 26, n. 229, p. 79-86, 2005.

UTLU, Z.; KOÇAK, M. S. **The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions**. Renewable Energy, v. 33, n. 8, p. 1936-1941, 2008. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewFile/8823/8823>> Acesso em: 12 de fevereiro de 2015.

VOLPATO, C.E.S. et al. **Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B100)**. Ciência e tecnologia, Lavras, v. 33, n.4, p. 1125-1130, ago. 2009.

YANAI, K. et al. **Desempenho auxiliary de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n.8, p. 1427-1434, ago. 1999.

YOTAMO, A. F. D., **Balanco energético das caldeiras e linhas de vapor**, 2011. Disponível em: <<http://nhambiu.uem.mz/w>. Acesso em 15 de fevereiro de 2015.

WHITE, L. A. **The Evolution of Culture**. New York: McGraw Hill Company. 1959. p.33.

SITES VISITADOS

http://www.sparlinginstruments.com/pdf/PDS_LSF.PDF, acesso em 27/07/2014.

<http://www.addtherm.com.br/medicao-termica/sensores-de-temperatura-pt-100>, acesso em 27/07/2014.

http://www.reissmann.com/media/produkte/pdf/st_pt_100_en.pdf, acesso em 27/07/2014.

http://www.tcdirect.co.uk/Default.aspx?level=2&department_id=230/15, acesso em 27/07/2014

<http://www.exacta.ind.br/?p=conteudo&id=186>, acesso em 27/07/2014

<http://www.novus.com.br/downloads/downloads.asp?FileID=73748>, acesso em 09/08/2014

http://www.gasescombustiveis.com.br/encontroglp/PALESTRAS/WAGNER_BRANCO/EFICIENCIA_PROC_COMBUSTAO_GAS_WAGNER_BRANCO.pdf, acesso em 26/01/2015.

http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs/Resolucao_CNP_tabela_conversao.pdf, acesso em 30/01/2015.

<http://www.inmar.com.br/caldeiras/arquivos/info1.pdf>. Acesso em 09/02/2015