

Monografia de Graduação

Avaliação do desempenho e das emissões de um motor ciclo Diesel utilizando sistemas; Diesel/Água/Biodiesel/Óleo Vegetal

Igor Micael Alves Uchôa

Natal, agosto de 2013

IGOR MICAEL ALVES UCHÔA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E DAS EMISSÕES DE UM MOTOR CICLO
DIESEL UTILIZANDO SISTEMAS; DIESEL/ÁGUA/BIODIESEL/ÓLEO VEGETAL**

Orientador: Dr. Eduardo Lins de B. Neto

NATAL-RN

2013

Monografia

Aluno: Igor Micael Alves Uchôa

Matrícula: 2008023613

Curso: Engenharia Química

Semestre/Ano: 10º/2013

Tema: Avaliação do desempenho e das emissões de um motor ciclo Diesel utilizando sistemas; Diesel/Água/Biodiesel/Óleo Vegetal.

Objetivos pretendidos: Avaliar combustíveis microemulsionados, base diesel, através da realização de testes em motor com banco dinamométrico visando levantar dados de desempenho e emissões de poluentes de vários sistemas microemulsionados. Propor um aditivo que torne o combustível Diesel menos poluente.

____/____/____

____/____/____

Eduardo Lins de B. Neto
Professor Orientador

Igor Micael Alves Uchôa
Aluno

Ao meu Avô Chico Mariano
(*in memoriam*) por todo amor e
carinho na minha criação. O
senhor partiu deixando muitas
saudades naqueles que lhe amam.

Agradecimentos

A Deus por ter me dado força e serenidade para seguir sempre adiante por maiores que fossem as dificuldades.

Aos meus pais, Neto Uchôa e Ilcivone Uchôa por serem meus eternos professores e minha maior alegria.

Aos meus irmãos Ítalo e Ilnahra por me darem força e me apoiarem nessa jornada.

Aos meus avós Chico Mariano (in memoriam) e Elita Alves por terem me ensinado durante toda a vida os valores que me transformaram em uma pessoa de bem e por todo o carinho na minha criação.

A minha namorada Jackeline Moreira (De Lima) por todo amor, paciência e por ser essa pessoa tão especial.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Lins de B. Neto pela dedicação e contribuição, para a concretização deste trabalho.

A todos os professores do departamento de Engenharia Química da UFRN por todo o conhecimento transmitido ao longo da graduação e por me fazerem amadurecer como profissional.

Aos grandes amigos que fiz dentro e fora da faculdade: Daniel Morais, Tiago Fernandes, Thuanny Costa, Dr. Gilson, Bebeto, Sárvio Câmara, Marcell Santana e Laís Sibaldo.

A Agência Nacional de Petróleo-ANP, pela concessão da bolsa e pelo fomento à capacitação de recursos humanos na área de petróleo e gás natural.

Uchôa, Igor Micael Alves - Avaliação do desempenho e das emissões de um motor ciclo Diesel utilizando sistemas; Diesel/Água/Biodiesel/Óleo Vegetal. Trabalho de conclusão de curso, UFRN, Departamento de Engenharia Química, Programa de Recursos Humanos–PRH 14/ANP. Áreas de Concentração: Engenharia de Processos em Plantas de Petróleo e gás, Natal/RN, Brasil.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lins de Barros Neto

Co-orientador: Prof. Dr. Afonso Avelino Dantas Neto

RESUMO: Devido aos combustíveis fósseis serem grandes poluidores e o uso destes serem cada vez mais frequente na sociedade, tem sido proposto o uso de combustíveis alternativos como etanol e biodiesel os quais podem ser adicionados à gasolina e ao diesel mineral, respectivamente. Os combustíveis vêm sendo cada vez mais usados, por serem renováveis e biodegradáveis. Outras misturas também estão sendo estudadas com o intuito de minimizar emissões e melhorar a eficiência dos motores. Um exemplo é a adição de água no diesel, formando microemulsões, de água-em-óleo que podem ser usadas como combustíveis em motores diesel. Este relatório engloba os experimentos realizados com o objetivo de propor um combustível microemulsionado, base diesel, através da adição de água, biodiesel e óleo vegetal. O combustível em estudo poderá ser uma alternativa aos combustíveis minerais de grande poder poluente sendo menos nocivo ao meio ambiente e apresentando um desempenho semelhante aos combustíveis convencionais. Também poderá baratear o custo dos combustíveis ao serem incorporados aditivos de baixo valor agregado.

Palavras Chaves:

- Combustíveis fósseis, Biocombustíveis, Microemulsões.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 DEFINIÇÃO DO MOTOR DIESEL.....	14
2.2 PARÂMETROS DE DESEMPENHO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	15
2.2.1 Potência efetiva (Ne)	15
2.2.2 Potência indicada.....	15
2.2.3 Potência de atrito	15
2.2.4 Torque	15
2.2.5 Consumo específico de combustível (q).....	15
2.2.6 Rendimento volumétrico (nv).....	16
2.2.7 Rendimento total (n).....	16
2.3 ASPECTOS GERAIS SOBRE COMBUSTÍVEIS.....	17
2.3.1 Óleo diesel	17
2.3.2 Propriedades e especificações do combustível diesel.....	17
2.4 ASPECTOS GERAIS SOBRE A COMBUSTÃO	22
2.4.1 Parâmetros da combustão	22
2.4.2 Combustão completa	22
2.4.3 Combustão incompleta	22
2.4.4 Combustão estequiométrica.....	22
2.4.5 O processo de combustão em motores.....	23
2.4.6 Emissões em motores de combustão	23
2.4.7 Composição dos gases de descarga e poluição.....	24
3. METODOLOGIA	26
3.1 Reagentes	26
3.2 Equipamentos.....	27
3.3 Verificação da temperatura de turbidez	28
3.4 Caracterização dos combustíveis	28
3.5 Aspecto	29
3.6 Densidade.....	29
3.7 Determinação da Viscosidade.....	29
3.8 Pontos de névoa.....	29
3.9 Ponto de Fulgor	29
3.10 Curva de destilação atmosférica	30
3.11 Índice de Cetano	30
3.12 Corrosão	30
3.13 Ensaio de consumo específico de combustível	30
3.14 Ensaio de emissões de combustível	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5. CONCLUSÃO.....	38

6. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	39
7. BIBLIOGRAFIA	40
ANEXO I.....	41
ANEXO II.....	45
ANEXO III.....	47

Lista de Figuras

Figura 1. Ciclo padrão de ar/diesel.....	14
Figura 2. Fluxograma de produção do Biodiesel.....	21
Figura 3. Representação de um tensoativo	22
Figura 4. Concentração de HC, CO e NO nos gases de escape (Heywood, 1988).....	25
Figura 5. Reagentes utilizados.....	26
Figura 6. Novos combustíveis formulados	27
Figura 7. Motor Diesel 5.0 H.....	31
Figura 8. Instalações experimentais com as principais partes: 1 – Analisador de emissão, 2-Motor diesel, 3- sistema de alimentação de combustível, 4- tacômetro, 5- dinamômetro elétrico, 6- unidade Multi-K, 7- seletor de variáveis, 8- célula de carga e 9 – Sistema de dissipação de energia.....	33

Lista de Tabelas

Tabela 2. Reagentes utilizados no experimento	26
Tabela 3. Equipamentos utilizados	28
Tabela 4. Especificações do motor	31
Tabela 5. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 1)	34
Tabela 6. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 2)	34
Tabela 7. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 3)	35
Tabela 8. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 4)	35
Tabela 9. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 5)	35
Tabela 10. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 6)	36
Tabela 11. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 7)	36

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Gráfico da dissolução de soluções de glicerina nas soluções do tensoativo A	37
--	----

Lista de Símbolos

T-torque

m-massa observada na balança

g-aceleração da gravidade

n-velocidade angular média

t-tempo decorrido para R revoluções

P-potência

C-consumo de combustível

v-volume da bureta

d-densidade média do combustível

X_i -fração em peso do componente ou mistura i no balanço hidrofílico-lipofílico

H_i -contribuição dos grupos (i) hidrofílicos e lipofílicos

W- trabalho

1. INTRODUÇÃO

As máquinas térmicas têm servido ao propósito humano desde sua invenção, em especial os motores de combustão interna, que utilizam os próprios gases de combustão como fluido de trabalho. Ou seja, são estes gases que realizam os processos de compressão, aumento de temperatura, expansão e exaustão. Os motores de combustão interna operam pela transformação de energia calorífica resultante da reação de combustão da mistura ar/combustível em energia mecânica e baseiam-se na expansão dos gases quando aquecidos. A pressão gerada, quando controlada pode ser utilizada para movimentar os sistemas mecânicos da máquina, tendo-se, desta maneira, a transformação da energia calorífica do combustível em energia mecânica. Estes motores podem trabalhar com combustíveis líquidos (óleos pesados, diesel, querosene, gasolina, álcool, benzol, etc.), ou gases (butano, propano, etc.) [Taylor, C.F. 1988].

Desde sua descoberta, o homem tem procurando o aprimoramento de sua eficiência, sejam por ajustes nos sistemas mecânicos ou pela adequação aos mais variados tipos de combustível. As características do combustível utilizado podem ter influência sobre o projeto do motor, pois, estas podem alterar a potência, a eficiência, o consumo, aumentar as emissões de poluentes e, em muitos casos, reduzir a confiabilidade e durabilidade do mesmo. Logo a decisão por uma fonte energética leva em conta fatores técnicos, econômicos, sociais, políticos e ambientais.

Combustíveis fósseis são grandes poluidores, pois liberam na atmosfera enormes quantidades de poluentes quando queimados em motores de combustão interna. A necessidade de se reduzir a emissão de gases poluentes e de materiais particulados na atmosfera, tem levado pesquisadores a propor o uso de combustíveis alternativos como etanol e biodiesel, estes combustíveis são adicionados à gasolina e ao diesel mineral, respectivamente. O uso desses bicomcombustíveis pela sociedade vem se tornando cada vez maior, pois os mesmos são renováveis e biodegradáveis. Outras misturas também estão sendo estudadas com o intuito de minimizar emissões e melhorar a eficiência dos motores; podemos citar como exemplo a adição de água no diesel formando as microemulsões, e as emulsões de água-em-óleo como combustível para uso em motores diesel. Estudos mostram que a adição de água no diesel na forma de microemulsão e emulsão reduz emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono, hidrocarbonetos, fuligem, devido a melhor eficiência da queima do combustível microemulsionado, e também devido à redução na temperatura dos gases de exaustão que é um fator importante na redução de poluentes, principalmente o monóxido de nitrogênio térmico (NO) que tem sua maior produção em altas temperaturas (Peckham, 2001; Abu-Zaid, 2004; Carvalho e Lacava, 2003; Pinheiro e Valle, 1995; Gallego et al., 2000).

Com base nestes fatos, este trabalho tem como objetivo avaliar combustíveis microemulsionados, base diesel, através da realização de testes em motor com banco dinâmométrico visando levantar dados de desempenho e emissões de poluentes de vários sistemas microemulsionados e compará-lo ao diesel mineral através de curvas características, a fim de se obter um combustível menos nocivo as questões ambientais e que apresente um desempenho semelhante aos combustíveis fósseis.

Objetivos específicos:

- Planejamento experimental para determinação das concentrações ótimas dos aditivos;
- Determinação do ponto de turbidez com concentrações variadas de aditivos e misturas destes;

- Determinação das propriedades físico-químicas dos combustíveis formulados;
- Avaliar os ensaios de consumo específico e emissões dos combustíveis no motor diesel.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO DO MOTOR DIESEL

O Motor Diesel ou motor de ignição por compressão é um motor de combustão interna que foi inventado pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel. Em que a combustão do combustível se faz pelo aumento da temperatura provocado pela compressão de ar. Estes motores geralmente são usados em máquinas de grande porte como os caminhões, ônibus e em motores para sistemas de geração elétrica.

O ciclo diesel consiste das seguintes etapas:

- 1 → 2 : Compressão isentrópica → $W_{1,2}$
- 2 → 3 : Fornecimento de calor a pressão constante (isobárico) → $q_{2,3}$
- 3 → 4 : Expansão isentrópica → $W_{3,4}$
- 4 → 1 : Cedência de calor a volume constante → $q_{4,1}$

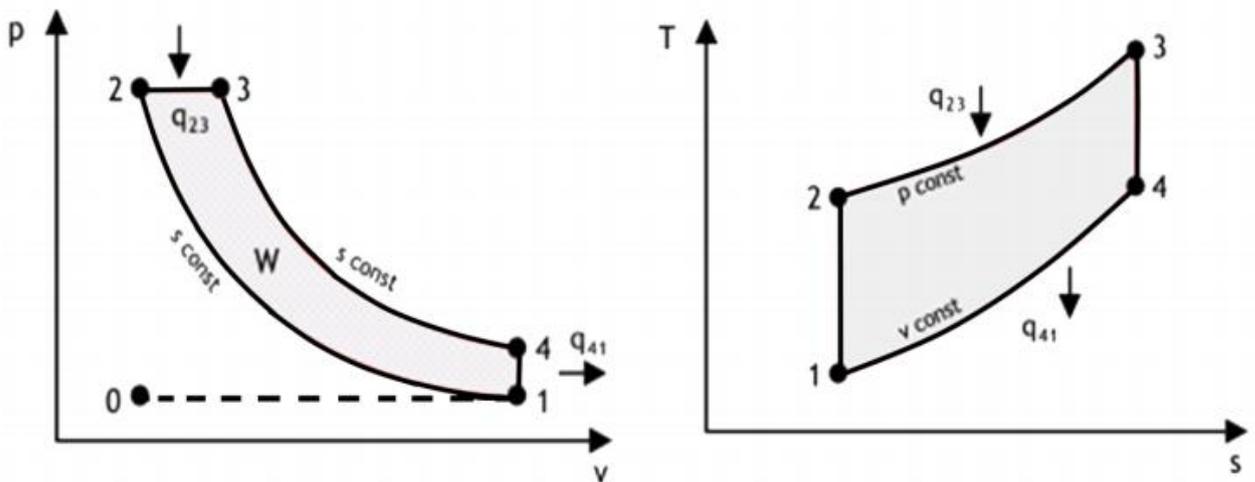


Figura 1. Ciclo padrão de ar/diesel.

O rendimento térmico teórico do ciclo diesel fechado equivalente é dado pela expressão seguinte:

$$n = \frac{W}{q_{23}} = \frac{q_{23} - q_{41}}{q_{23}} = 1 - \frac{q_{41}}{q_{23}} = 1 - \frac{cv(T4 - T1)}{cp(T3 - T2)} \quad (\text{Eq1})$$

Onde:

n_{tt} é rendimento térmico teórico do ciclo diesel;

q_{41} é o calor cedido sob volume constante [kJ/kg];
 q_{23} é o calor fornecido sob pressão constante [kJ/kg];
 c_v é o calor específico a volume constante da mistura [J/kg.K];
 c_p é o calor específico a pressão constante da mistura [J/kg.K];
 T_n é a temperatura no estado termodinâmico indicado [K];

2.2 PARÂMETROS DE DESEMPENHO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Os parâmetros que mostram como o motor está desempenhando o trabalho de forma eficiente são: a potência efetiva, a potência indicada, a potência de atrito, o torque, o consumo específico de combustível, o rendimento volumétrico e o rendimento total. Estes são descritos abaixo:

2.2.1 Potência efetiva (N_e)

Representa a potência retirada no eixo do motor. Pode ser medida com um dispositivo frenante aplicado ao eixo do motor, chamado de dinamômetro.

2.2.2 Potência indicada

É a potência desenvolvida no interior do cilindro, sendo o percurso que o pistão faz para ir do ponto morto superior (PMS) ao ponto morto inferior (PMI) ocasionado pela combustão da mistura ar-combustível.

2.2.3 Potência de atrito

É a potência utilizada para vencer o atrito entre as partes mecânicas em movimento, acionar acessórios, e também para efetuar aspiração da mistura de ar-combustível e promover a expulsão dos gases de descarga.

2.2.4 Torque

É o momento de torção ao qual está sujeito o motor. O valor do torque pode ser medido através do banco dinamométrico. O torque é encontrado através da fórmula a seguir:

$$M_t = F * L \quad (\text{Eq2})$$

Onde o torque é dado pelo produto do braço da força (L) pela força (F).

2.2.5 Consumo específico de combustível (q)

É a quantidade de combustível que um motor gasta para cada unidade de potência produzida, durante certo intervalo de tempo de funcionamento. É um parâmetro usado para

mostrar o quanto de combustível que um motor está transformando em trabalho. Para se obter o consumo específico de combustível de um motor a uma dada rotação divide-se o consumo horário pela potência efetiva, produzida à mesma rotação.

$$q_e = \frac{Ch}{N_e} \quad (\text{Eq3})$$

Onde:

q_e = consumo específico de combustível (g/CV.h)

Ch = consumo horário de combustível (g/h)

N_e = potência efetiva (CV)

2.2.6 Rendimento volumétrico (n_v)

É definido como sendo a relação entre o peso de ar efetivamente introduzido no cilindro no curso de admissão, e o peso teórico que seria necessário para ocupar o mesmo volume nas condições de pressão e temperatura ambiente.

$$n_v = \frac{m_a}{m_t} \quad (\text{Eq4})$$

Onde:

m_a = peso de ar aspirado em cada curso de admissão.

m_t = peso de ar nas condições atmosféricas locais, necessário para ocupar o volume da cilindrada de um cilindro.

2.2.7 Rendimento total (n)

O rendimento total ou global de um motor pode ser expresso como o produto dos rendimentos volumétricos, térmico e mecânico.

$$n = n_v * n_t * n_m \quad (\text{Eq5})$$

Podemos obter o rendimento global de um motor quando conhecemos o consumo específico e o poder calorífico inferior do combustível, usando a expressão:

$$n = \frac{6,32 * 10^5}{q * PCI} \quad (\text{Eq6})$$

Onde:

q = consumo específico (g/CV.h)

PCI = poder calorífico inferior (kcal/kg)

2.3 ASPECTOS GERAIS SOBRE COMBUSTÍVEIS

2.3.1 Óleo diesel

O óleo Diesel é uma mistura de hidrocarbonetos com ponto de ebulição entre 200 e 360°C, obtido pela destilação do petróleo, síntese, ou craqueamento catalítico a baixas temperaturas. Normalmente o óleo diesel é obtido por destilação atmosférica e a vácuo, no caso das frações mais pesadas que é originada da destilação atmosférica. Outros processos somente são adotados quando não é possível obtê-los por destilação atmosférica e a vácuo. Tem poder calorífico médio (ou calor de combustão) de 10.688 kcal/kg (Cardoso, et. al. 2008).

As propriedades e especificações do óleo diesel rodoviário automotivo comercial tipos metropolitano (S500) com teor de enxofre máximo 500 ppm, interior (S1800) com uma quantidade de enxofre máxima de 1800 ppm e mistura de óleo diesel/biodiesel são regulamentadas seguindo o Regulamento Técnico ANP N°. 2/2006, através da PORTARIA DA AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, BIOCOMBUSTÍVEIS E GÁS NATURAL – ANP N°. 15 de 17 de julho de 2006.

2.3.2 Propriedades e especificações do combustível diesel

2.3.2.1 Viscosidade

A viscosidade é importante para os combustíveis dos motores de ignição por compressão, pois ela influencia no comportamento do sistema de injeção no motor. Esta propriedade indica a resistência do líquido ao escoamento e apresenta variações com a temperatura do fluido em uma proporção inversa, ou seja, quanto menor a temperatura maior a viscosidade. Sabemos que quanto maior a viscosidade, menor a eficiência do sistema de injeção de combustível, já que a atomização se torna difícil de acontecer, aumentando o tamanho das gotículas e diminuindo a área de contato com os gases pressurizados no interior da câmara de combustão. Isto provoca uma queima incompleta no motor, pois inibe a evaporação do combustível. O que contribui para um acréscimo das emissões de monóxido de carbono, fumaça e material particulado na atmosfera.

Valores de viscosidade abaixo da faixa podem levar a desgaste excessivo nas partes auto-lubrificantes do sistema de injeção, vazamento na bomba de combustível e danos ao pistão.

2.3.2.2 Volatilidade

A volatilidade do diesel é medida pela temperatura de destilação versus percentual evaporado na pressão atmosférica. Uma boa volatilidade assegura um arranque fácil do motor, devido a uma melhor combustão da mistura ar-combustível, produzindo níveis aceitáveis de particulados no meio ambiente.

2.3.2.3 Calor de vaporização

O calor de vaporização de um líquido é a quantidade de calor necessária para evaporar um mol deste líquido sem mudar a sua temperatura. O calor de vaporização pode ter um efeito na temperatura da mistura ar-combustível, pois os combustíveis de elevados pontos de ebulição podem levar a um atraso da ignição quando o combustível evapora após a injeção.

O calor de vaporização é um dos parâmetros mais importante para combustíveis alternativos, pois os aditivos podem alterar esta propriedade do combustível (Peralta, 2000).

2.3.2.4 Ponto de névoa

O ponto de névoa é a temperatura onde cristais de parafina começam a aparecer. As parafinas contidas em hidrocarbonetos de elevado ponto de ebulição seriam produtos sólidos na temperatura ambiente e com isso separavam-se dos demais componentes. No óleo diesel eles se mantêm dissolvidos, mas ao baixarmos a temperatura do diesel, dependendo da concentração de parafinas, estas podem se separar do restante sob a forma de pequenos cristais que, no sistema de alimentação dos motores, causaria a obstrução dos filtros de combustível. O valor máximo legal admitido para o ponto de névoa do diesel no Brasil depende da região e da época do ano, de acordo com o clima. Para diminuir este problema é feito o uso de aditivos em dosagens bastante reduzidas (Peralta, 2000).

2.3.2.5 Número de cetano

O número de cetano mede a qualidade de ignição de um combustível para máquina diesel e tem influência direta na partida do motor e no seu funcionamento sob carga. O número de cetano se relaciona diretamente com o retardo de ignição de combustível no motor de modo que, quanto menor o número de cetano maior será o retardo da ignição. Conseqüentemente, maior será a quantidade de combustível que permanecerá na câmara sem queimar no tempo certo.

2.3.2.6 Ponto de escoamento

O ponto de escoamento indica a temperatura abaixo da qual não é possível usar a gravidade para transportar o combustível do reservatório ao motor (Luciano, 1991).

2.3.2.7 Ponto de Fulgor

Ponto de fulgor é a menor temperatura na qual um combustível libera vapores em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável por uma fonte externa de calor. A temperatura de fulgor não é suficiente para que a combustão seja mantida, ou seja, retirando-se a fonte de calor, acaba a inflamação da mistura. A ANP estipula o ponto de fulgor mínimo

para os óleos diesel, combustíveis comerciais e misturas de biodiesel como sendo igual a 38 °C.

2.3.2.8 Densidade

A densidade indica a quantidade de massa por unidade de volume do combustível que é injetada no motor. Como a bomba injetora alimenta o motor com volumes constantes para cada condição de operação, variando-se a densidade, varia-se a massa de combustível injetada na câmara de combustão. Valores elevados de densidade causam um enriquecimento da mistura ar/combustível, provocando acréscimo das emissões de particulados, monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos. Por outro lado, a variação para valores muito baixos de densidade acarreta perda de potência, pois temos um empobrecimento da mistura ar/combustível.

2.3.2.9 Teor de enxofre

O petróleo contém compostos de enxofre que no refino são removidos para que o óleo diesel fique com um teor mínimo de enxofre. Quando o diesel é queimado, o enxofre presente se transforma em óxidos de enxofre que são descarregados para a atmosfera ou se transformam em ácidos na câmara de combustão provocando desgastes de anéis, cilindros e na câmara. Um teor de enxofre menor no diesel aumenta a vida útil do motor e reduzem particulados e óxidos de enxofre no meio ambiente, que são formadores da chuva ácida. Os óxidos de enxofre quando entram em contato com os vapores de água presentes na atmosfera causam um fenômeno conhecido como chuva ácida. Por outro lado os compostos de enxofre presentes no diesel são benéficos para o combustível, pois aumentam sua lubricidade. Às vezes temos que aditivar o diesel para que seja mantido o poder de lubrificação.

2.3.2.10 Corrosão e desgaste

A corrosão e o desgaste estão associados ao conteúdo de enxofre, cinzas e resíduos do combustível. O combustível não deve causar corrosão antes da combustão, ou corrosão e desgaste após a combustão. Os componentes do motor e o combustível diesel são feitos para serem compatíveis. Uma vez que o diesel é um bom lubrificante, ele é usado para lubrificar parte da bomba de injeção de combustível (Martinelli Jr., 1998).

2.3.2.11 Resíduos de carvão

Os resíduos de carvão ocorrem quando o combustível é queimado com quantidade limitada de oxigênio. Estes, em alta proporção, contribuem para a formação de depósitos na câmara de combustão e ao redor dos orifícios do injetor, interferindo na forma do jato (Nascimento, 1999).

2.3.2.12 Cinzas

A quantidade de cinzas presente em um óleo mede a abrasão que os produtos da combustão podem causar no motor. Além disso, as cinzas presentes na câmara de combustão atrapalham o processo normal de queima do combustível, pois as partículas sólidas aquecidas funcionam como sementes de chama durante a fase de compressão, fazendo com que a mistura sofra combustão em diferentes locais e fora do tempo determinado, podendo aparecer o fenômeno da detonação (Nascimento, 1999).

2.3.2.13 Água e impurezas

A água no combustível pode causar danos ao sistema de alimentação, interferir no processo de combustão e provocar corrosão nos reservatórios (Nascimento, 1999). A água microemulsionada ou emulsionada no diesel, reduz emissões e melhora o rendimento dos motores (Abu-Zaid, 2004). As impurezas são minúsculas partículas presente no diesel proveniente do processo de refino, ou mesmo, do carregamento e transporte e pode provocar obstrução no sistema de injeção, quando este for injetado na câmara de combustão (Nascimento, 1999).

2.3.2.14 Glicerina

Glicerol ou propano-1,2,3-triol (IUPAC,1993) é um composto orgânico pertencente à função álcool. É líquido à temperatura ambiente (25 °C), higroscópico, inodoro, viscoso e de sabor adocicado. O termo Glicerina refere-se ao produto na forma comercial, com pureza acima de 95% que pode ser oriundo do processo de produção do biodiesel como mostrado no fluxograma da figura 2:

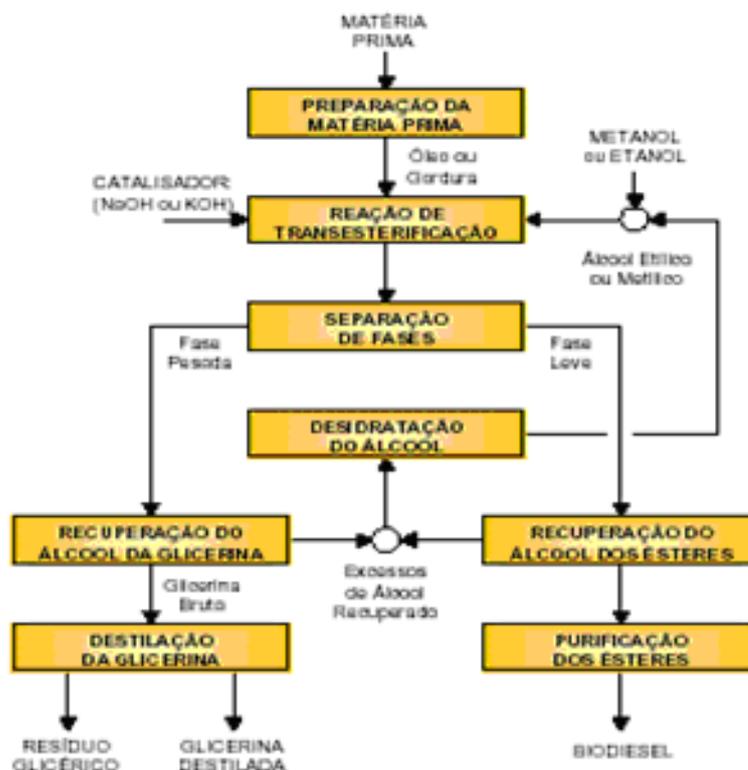


Figura 2. Fluxograma de produção do Biodiesel

2.3.2.15 Tensoativo

Os tensoativos são moléculas com estruturas químicas distintas, ou seja, contém grupos com afinidades diferentes e interligados, sendo uma parte polar hidrofílica ligada à outra parte apolar hidrofóbica. Esta capacidade do tensoativo de possuir dupla afinidade colabora para promover a solubilidade entre compostos sem afinidades ou quase nenhuma afinidade, pelo abaixamento da tensão superficial ou interfacial.

A presença na mesma molécula de duas regiões com afinidades diferentes caracteriza o termo anfifílico (Mittal, 1979). Os tensoativos possuem diversas propriedades, dentre as quais se destacam: capacidade de formar bolhas e espumas na superfície de um líquido e a de se adsorverem nas interfaces líquido-líquido e sólido-líquido reduzindo a tensão interfacial e líquido-gás diminuindo a tensão superficial.

O termo interface indica o limite entre duas fases imiscíveis, enquanto o termo superfície denota a interface onde uma das fases é um gás, usualmente o ar (DelNunzio, 1990; Rosen, 1978). A representação esquemática de um tensoativo pode ser visualizada na Figura 3:

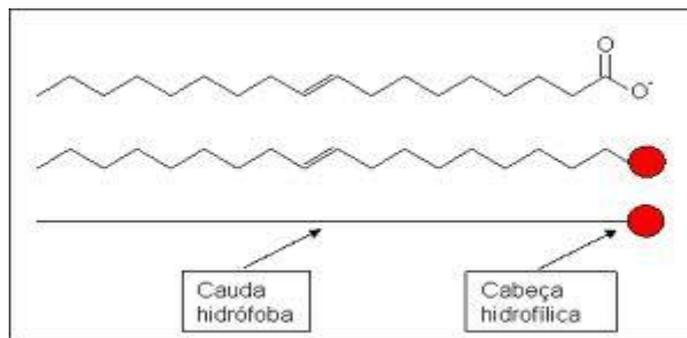


Figura 3. Representação de um tensoativo

Os tensoativos podem ser classificados de acordo com a natureza do grupo hidrofílico, pois podem possuir cargas elétricas ou não em suas cabeças. Estas cargas são responsáveis por diversas afinidades químicas entre os íons provocando repulsões entre as cabeças e com isso aumentar ou diminuir a solubilização nos solventes polares. Os tensoativos estão divididos em quatro classes de acordo com a sua parte polar em: catiônicos, aniônicos, anfóteros e não-iônicos. Os tensoativos catiônicos e aniônicos estão no grupo dos tensoativos iônicos.

2.4 ASPECTOS GERAIS SOBRE A COMBUSTÃO

2.4.1 Parâmetros da combustão

A combustão é uma reação química exotérmica existente entre o combustível e o comburente (oxigênio), que se processa quando fornecemos uma energia de ativação ao sistema. Essa energia para o caso do motor de combustão é fornecida sob a forma de uma faísca causada pela vela de ignição.

2.4.2 Combustão completa

A combustão completa é a reação em que o combustível reage com o oxigênio, se transformando completamente em dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O).

2.4.3 Combustão incompleta

A combustão incompleta é a reação em que o combustível reage parcialmente com oxigênio. Na combustão incompleta aparecem produtos intermediários a combustão, sobretudo o monóxido de carbono (CO) e o hidrogênio (H_2).

2.4.4 Combustão estequiométrica

A combustão estequiométrica é a reação de oxidação teórica que determina a quantidade exata de oxigênio necessária para realizar a completa oxidação do combustível. O processo de combustão completa de um hidrocarboneto de composição molecular C_nH_m com o ar, é dado pela equação:

$$X=(A/F_f)=\text{massa de ar/massa de combustível (Eq 7)}$$

Para o caso do óleo diesel este valor de X é de 14,49 kg ar/kg de combustível. Se o valor for maior do que 14,49 kg ar/kg de combustível a mistura é pobre e se for menor a mistura é rica.

2.4.5 O processo de combustão em motores

Heywood (1988) descreve a combustão da mistura ar/combustível no interior do motor como um dos processos que controlam a potência, a eficiência e a produção dos gases poluentes e é muito diferente para os dois principais tipos de motores de combustão interna conhecidos, o motor Otto e o motor Diesel.

No motor Otto o combustível é misturado com o ar no sistema de admissão, formando uma mistura homogênea que, após ser comprimida, entra em combustão pela ação de uma centelha elétrica. Uma chama se desenvolve desde o foco inicial criando uma frente de chama que se propagando através do cilindro até as paredes da câmara de combustão. Quando esta atinge as paredes da câmara, a chama acaba tanto pela transferência de calor para as paredes como pela extinção das espécies químicas ativas. Um problema para este tipo de motor é a auto-ignição de frações da mistura não queimadas antes da frente de chama, pois este fenômeno gera uma combustão anormal, denominada de detonação, devido às altas pressões e temperaturas, podendo ocasionar danos ao motor (Fernandes,2011).

No motor Diesel, como o combustível é injetado no cilindro e na massa de ar a altas pressões e temperaturas, ocorre a auto-ignição de porções da mistura resultante da injeção e da vaporização do combustível no ar quente. Daí segue-se um processo de combustão que se expande, rapidamente, ao longo da câmara de combustão pelo processo de difusão da chama. O motor Diesel é caracterizado pela existência da chama difusa, pois os reagentes estão inicialmente separados, com a mistura e as reações químicas ocorrendo somente na interface entre o combustível e o ar. Na prática, nos motores de ignição por compressão ocorrem os dois tipos de chamas em diferentes graus, apresentando quantidades significativas de chama em pré-mistura e chama difusa. A chama da combustão é identificada como difusa, pois a mistura se forma enquanto a combustão ocorre por auto-ignição, resultando num gradiente de elevação de pressão na câmara de combustão. É preferível que o combustível não seja injetado sobre as paredes da câmara de combustão, pois se este for injetado nas paredes a mistura ar/combustível é prejudicada gerando queima incompleta (Fernandes,2011).

Com a auto-ignição, o combustível, que foi acumulado durante o retardo, queima-se rapidamente, num período chamado de combustão em pré-mistura e, enquanto ocorre o consumo da mistura preparada durante o retardo, o combustível restante queimará a uma taxa determinada pela relação de mistura dosada, numa fase que é conhecida como combustão em mistura controlada (Van Gerpen, 2006).

2.4.6 Emissões em motores de combustão

As emissões dos motores de combustão são geradas devido à combustão incompleta. Vários são os fatores que contribuem para isso, podemos atribuir as emissões a: pouco ar na câmara de combustão, excesso de combustível, má formação da mistura ar/combustível, baixo índice de cetano. As emissões de combustão também podem ser afetadas por erros de projetos na câmara de combustão, ângulo de injeção mal dimensionado, baixa atomização do combustível dentre outras.

As emissões mais importantes que requerem controles rigorosos pelos órgãos ambientais são: o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os hidrocarbonetos (C_xH_y), os materiais particulados (MP), os carbonos orgânicos voláteis (VOC) e os carbonos orgânicos poliaromáticos (HPAs).

2.4.7 Composição dos gases de descarga e poluição

O teor desses gases expelidos na descarga dos automóveis é rigorosamente controlado em diversos países, devido a seus efeitos tóxicos e os problemas ambientais causados. A Figura 2 mostra qualitativamente como as emissões de NO, CO e C_xH_y dos gases do escapamento, são influenciadas pelo ϕ da relação ar / combustível.

Na figura 2, quando a mistura é pobre os gases de óxidos de nitrogênio aumentam até atingir a relação estequiométrica, visto que mais próximo a essa relação temos as maiores temperaturas de chama, aumentando a formação de NO térmico e de NO_x. Já quando a mistura é rica, as emissões de NO vão diminuindo. Com uma mistura rica temos uma reação incompleta, o que gera um acréscimo nas emissões de CO e hidrocarbonetos não queimados.

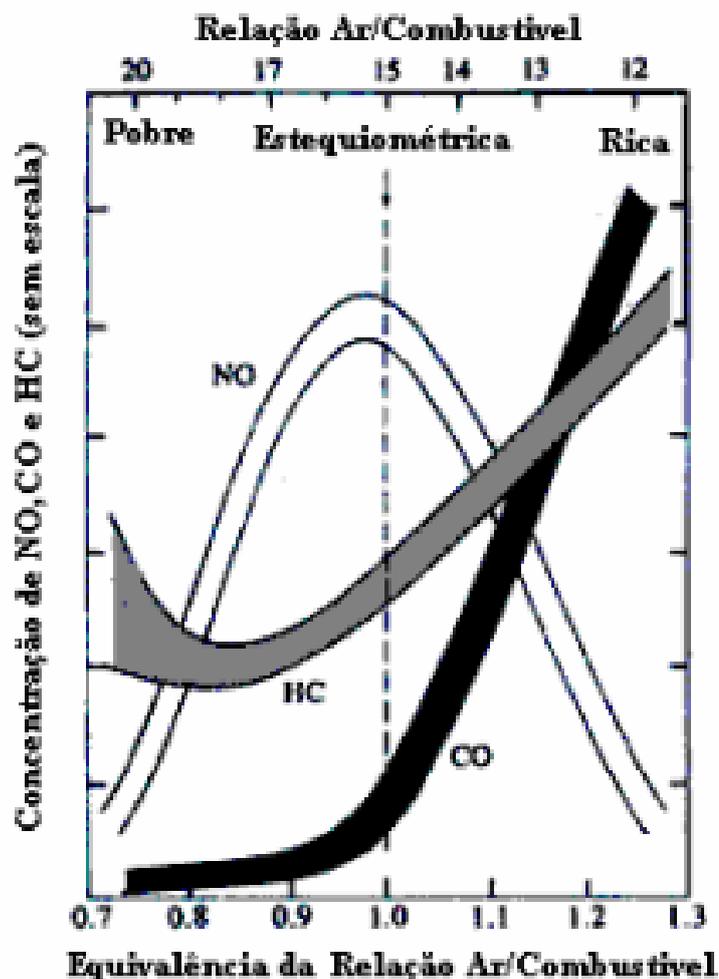


Figura 4. Concentração de HC, CO e NO nos gases de escape (Heywood, 1988)

Os hidrocarbonetos (C_xH_y) colaboram também com o aquecimento global, pois o metano expelido na queima é um gás que tem um potencial estufa. O material particulado produzido por uma máquina diesel consiste, basicamente, de aglomerados de núcleos de carbono, e de hidrocarbonetos, SO_3 ou ácido sulfúrico, e água, adsorvidos ou condensados sobre esses núcleos carbônicos (Neeft, 1996 e Lahaye; Ehrburger-Dolle, 1994).

Sabemos que materiais particulados são perigosos à saúde, pois podem causar irritação nas vias respiratórias, além de doenças como asma e bronquite. Por isso a importância no ajuste das melhores condições operacionais de combustão bem como a obtenção da melhor formulação do combustível a serem usados pelas frotas crescentes de automóveis.

3. METODOLOGIA

3.1 Reagentes

Os reagentes utilizados não sofreram processos de purificação, tivemos apenas o cuidado na manipulação para não contaminar os mesmos.

Tabela 1. Reagentes utilizados no experimento

Reagente	Fonte	Pureza
Óleo Diesel	Postos BR	-
Água	Destilada	-
Glicerina	Comercial	-
Tensoativo A	Comercial	-
Tensoativo B	Comercial	-



Figura 5. Reagentes utilizados



Figura 6. Novos combustíveis formulados

3.2 Equipamentos

Os principais equipamentos utilizados na realização deste trabalho estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Equipamentos utilizados

Nome	Função	Modelo	Marca
Agitador magnético	Fazer misturas	752 A	Fisaton
Balança analítica digital	Medidas de massas	AG 200 (\pm 0,001 g)	Gehaka
Centrífuga	Separação de fases	Q-222 T 28	Quimis
Motor diesel	Motor diesel	BD 5.0 H	Branco Diesel
Gerador Sincrono	Fornecer carga ao motor	112 MB	Kohlbach
Quadro de Comando	Fornecer potência ao gerador	MULT - K	Transnor
Dissipador de energias	Dissipar energias	-	Transnor
Pensky-Martens	Medidor de ponto de Fulgor	PM-4	Petroteste
Mittler Toledo	Medidas de Turbidez	DL 50	Mettler Toledo
Fototrodo	Incide luz na amostra	DP - 550	Mettler Toledo
Koehler	Faz medidas de corrosão	K25319	Koehler
Reômetro	Medidas de viscosidade	MARS	HAAKE
Banho termostatizado	Banho termostatizado	DC 30	HAAKE
Reator de vidro encamisado (6 litros)	Reação de Transesterificação	-	-
Evaporador Rotativo	Evaporar voláteis a baixa pressão	TE - 211	Tecnal
Estufa com circulação de ar	Secagem de material e evaporação	TE - 394/2	Tecnal
GreenLine 8000	Analisar emissões	-	Eurotron
Tacômetro Stroboscope	Ler rotação do motor	ST - 707	Instrutemp
Densímetro	Medir densidades	DMA 4500 M	Anton Paar
Lumisizer	Separar de fases	LUM	GmbH
Antek	Analizador de Enxofre		
Centrífuga	Separar de fases	CT - 5000 R	CIENTEC

3.3 Verificação da temperatura de turbidez

Procedimento Experimental

- 1- Prepararamos 100ml de solução aquosa de Tensoativo B (**solução I**) 5%;
- 2- Colocamos 1% de Tensoativo A em 100 ml de diesel e adicionamos a **solução I** agitando até turvar (anotar a massa adicionada)
- 3- Repetimos o item anterior para 2%, 3%, 4% e 5% de Tensoativo A;
- 4- Fizemos o mesmo adicionando somente água e glicerina;

3.4 Caracterização dos combustíveis

Os combustíveis formulados serão caracterizados nos laboratórios do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, através de métodos da Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT e da American Society for Testing and

Materials-ASTM, conforme especificações da Resolução ANP N°. 15,17 de julho de 2006, para comercialização de óleo diesel e misturas de óleo diesel/biodiesel em todo o território nacional. A seguir apresentamos os testes previstos na especificação do óleo diesel, Os testes que serão feitos nas novas formulações dos combustíveis são relacionados a seguir:

3.5 Aspecto

Vai identificar primeiramente a presença de sólidos em suspensão, mistura de combustíveis ou mesmo a turbidez pela presença de água no sistema. Como é um teste visual, não é suficiente para fazer uma avaliação detalhada, mas indicam que se pode dar continuidade as análises seguintes.

3.6 Densidade

A densidade será medida no densímetro Anton Paar, modelo DMA 4500 M. A densidade será determinada em uma temperatura previamente determinada.

3.7 Determinação da Viscosidade

Os ensaios de viscosidade serão realizados no reômetro HAAKE MARS, Inicialmente faremos uma calibração do reômetro no ponto zero, através do software de mesmo nome. Em seguida colocaremos em torno de 11 mL de amostra no recipiente (cilindro fixo) e com o software definiremos os parâmetros de temperatura, tempo, taxa e modo de operação. Com estes dados iniciaremos as medidas e a resposta são curvas de fluxos (tensão Vs. taxa de cisalhamento) obtendo-se a viscosidade que é o coeficiente angular da equação.

3.8 Pontos de névoa

O ensaio será realizado em aparelho de fabricação da Mittler Toledo, modelo: DL 50. A aparelhagem será composta por: banho de resfriamento, recipiente de ensaio, fototrodo e termopar. O procedimento será feito submetendo-se 60 mL da amostra a resfriamento anotando-se o valor da transmitância de luz através do fototrodo (modelo DP-550) e da temperatura no termopar até o aparecimento de uma área turva, onde a incidência de luz cai rapidamente indicando que é aquela a temperatura de turbidez da amostra.

3.9 Ponto de Fulgor

A verificação dessa propriedade será feita de acordo com as normas NBR 7974 da ABNT e ASTM D 56/01 e ASTM D 93. Para o óleo diesel e misturas o ensaio será feito em um aparelho de vaso fechado tipo Pensky-Martens, da Petroteste, modelo: PM-4, semi-automático composto por cuba de ensaio, tampa obturador, agitador, fonte de aquecimento, dispositivo de ignição (chama piloto). O ensaio é realizado colocando-se a amostra no copo até a marca indicada e consiste no aquecimento da amostra seguido de aplicação de uma chama piloto até que os vapores gerados se inflam. Estes vapores são detectados por um lampejo que se apaga logo rapidamente. A temperatura de ponto de fulgor é registrada no termômetro no instante em que ocorre o lampejo e a chama se apaga.

3.10 Curva de destilação atmosférica

No decorrer do ensaio devemos registrar progressivamente o volume de destilado e a temperatura correspondente. Neste ensaio coloca-se 100 mL da amostra do combustível em um sistema para destilação e anota-se a temperatura de início da destilação e depois a cada 10 mL da amostra destilada. Após isso devemos fazer a curva da temperatura em função dos volumes coletados. A curva obtida serve no controle de qualidade das frações de petróleo obtidas.

3.11 Índice de Cetano

O índice de cetano é calculado a partir da densidade e da temperatura de destilação de 10%, 50% e 90% do produto de um volume de amostra de 100 mL usando a fórmula desenvolvida pela ASTM (American Society for Testing Materials) que consta no método D4737 representado pelo modelo abaixo:

$$CI_{4737} = 45,2 + 0,0892T_{10N} + [0,131 + 0,901B]T_{50N} + [0,0523 - 0,420B]T_{90N} + 0,00049[T_{10N}^2 - T_{90N}^2] + 107B + 60B^2$$

(Eq8)

Onde:

$$B = [e^{(-3.5)(D - 0.85)}] - 1$$

D = densidade determinada pela ASTM D 1298, que é a relação da massa específica do diesel a 20 °C e da massa específica da água a 4 °C.

T10 = temperatura de destilação 10 % (°C)

$$T10N = T10 - 215$$

T50 = temperatura de destilação 50 % (°C)

$$T50N = T50 - 260$$

T90 = temperatura de destilação 90% (°C)

$$T90N = T90 - 310$$

3.12 Corrosão

O teste será realizado no equipamento da Koehler, modelo: K25319, através de imersão de lâminas de cobre, em uma amostra de cada produto mantida a temperatura de 50 °C, por período de 3 horas. Decorrido esse período a lâmina será retirada, lavada e sua coloração será comparada com lâminas padrão de acordo com a ASTM D 130.

3.13 Ensaio de consumo específico de combustível

O aparato experimental é composto de: um motor diesel, dinamômetro elétrico (gerador síncrono, com capacidade de 6 kW), sistema de dissipação de energia (banco de resistência, com capacidade de 7 kW), unidade de controle composta de (unidade Multi-K, seletor de variáveis, célula de carga) um tacômetro estroboscópico, sistema de alimentação de combustível, cronômetro e analisador de emissão. As especificações do motor diesel estudado nestes ensaios estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Especificações do motor

Marca	Branco Diesel 5.0 H
Tipo	Motor diesel, monocilíndrico, eixo horizontal, quatro tempos
Diâmetro x Curso	70 x 55 mm
Cilindrada	211 cm ³
Rotação	3000/3600 rpm
Potência máxima	4,2/4,7 CV
Potência contínua	3,8/4,2 CV
Torque máximo	2,5 Nm a 2500 rpm
Sistema de refrigeração	Forçada a ar
Sistema de lubrificação	Forçada por bomba de óleo
Capacidade de óleo	0,75 litros
Dimensões (CxLxA)	332 x 392 x 416 mm
Consumo	0,01 litros/horas



Figura 7. Motor Diesel 5.0 H

O ensaio de consumo específico será realizado mantendo-se a rotação constante em 3500 rpm variando-se a potência do dinamômetro elétrico em 333 watts, por meio de excitação elétrica, iniciando em 333 w até o máximo de 2000 watts totalizando seis pontos de potência. Neste ensaio mede-se o tempo necessário para o motor consumir uma quantidade fixa de combustível.

O ensaio para obtenção do consumo específico em função da potência do motor será obtido da seguinte forma:

- 1- Em cada bureta colocaremos um tipo de combustível diferente;
- 1.1- Com os combustíveis nas buretas ligaremos o motor com diesel comum em carga zero por um período de 20 minutos para o motor atingir a estabilidade;
- 2- Com a carga do motor em 333 W, ou seja, o motor em baixa carga, iniciaremos as medidas de consumo:
 - 2.1- Ajustaremos a rotação do motor em 3500 rpm, usando um tacômetro estroboscópico e o sistema de aceleração do motor e mediremos o tempo para que o motor consuma 15 mL do combustível.
 - 2.2- Fecharemos válvula da bureta “a” e abriremos a válvula da bureta “b” e com a rotação em 3500 rpm mediu-se o tempo para consumir 15 mL do combustível da bureta 2;
 - 2.3- Para as buretas “c”, “d” e “e” serão feitos os experimentos nas mesmas condições de potência e rotação para cada combustível individual sempre fechando-se a anterior e abrindo-se a próxima mantendo-se as demais fechadas e medindo-se o tempo para consumir a mesma quantidade de combustível.
- 3- Repetiremos os testes de consumo de acordo com os sub-itens 2.1, 2.2 e 2.3 para uma potência do dinamômetro elétrico de 666 watts.
- 4- Para as demais potências até a máxima de 2000 Watts a metodologia utilizada será igual aos itens 2 e 3.

O consumo específico de combustível é calculado pelas equações abaixo:

$$C_e = \frac{Q_o}{P} \quad (\text{Eq9})$$

Onde:

C_e = Consumo específico de combustível (g/kWh)

Q_o = Consumo horário observado (g/h).

P = Potência (kW)

O consumo horário de combustível é calculado por:

$$Q_o = \frac{60 * m}{t} = \frac{60 * v * \rho}{t} \quad (\text{Eq 10})$$

Onde:

Q_o = Consumo horário observado (g/h).

m = massa de combustível (g).

t = tempo, min.

3.14 Ensaio emissões de combustível

O equipamento que será utilizado para fazer as análises dos gases de combustão será o GreeLine 8000. Este equipamento possibilita a avaliação dos teores de O₂, CO, CO₂, H₂S, SO₂, NO, NO₂, NO_x e C_xH_y. O equipamento consiste de duas partes funcionais: unidade de análise de gases (MCU) e a unidade de controle remoto (RCU). A MCU é composta por uma

bomba peristáltica para sucção da amostra, controlador de temperatura, filtros de partículas, dreno para condensado, células eletroquímicas (CE) e células de infravermelho (IR). Os valores dos gases podem ser obtidos por meio de uma impressora existente na RCU e também podem ser armazenados na memória da RCU podendo ser recuperados e analisados no software DBGAS 2000 em ambiente Windows. A sonda será colocada no escapamento do motor para que os gases de exaustão possam ser analisados. O sistema completamente montado é mostrado na figura 3.

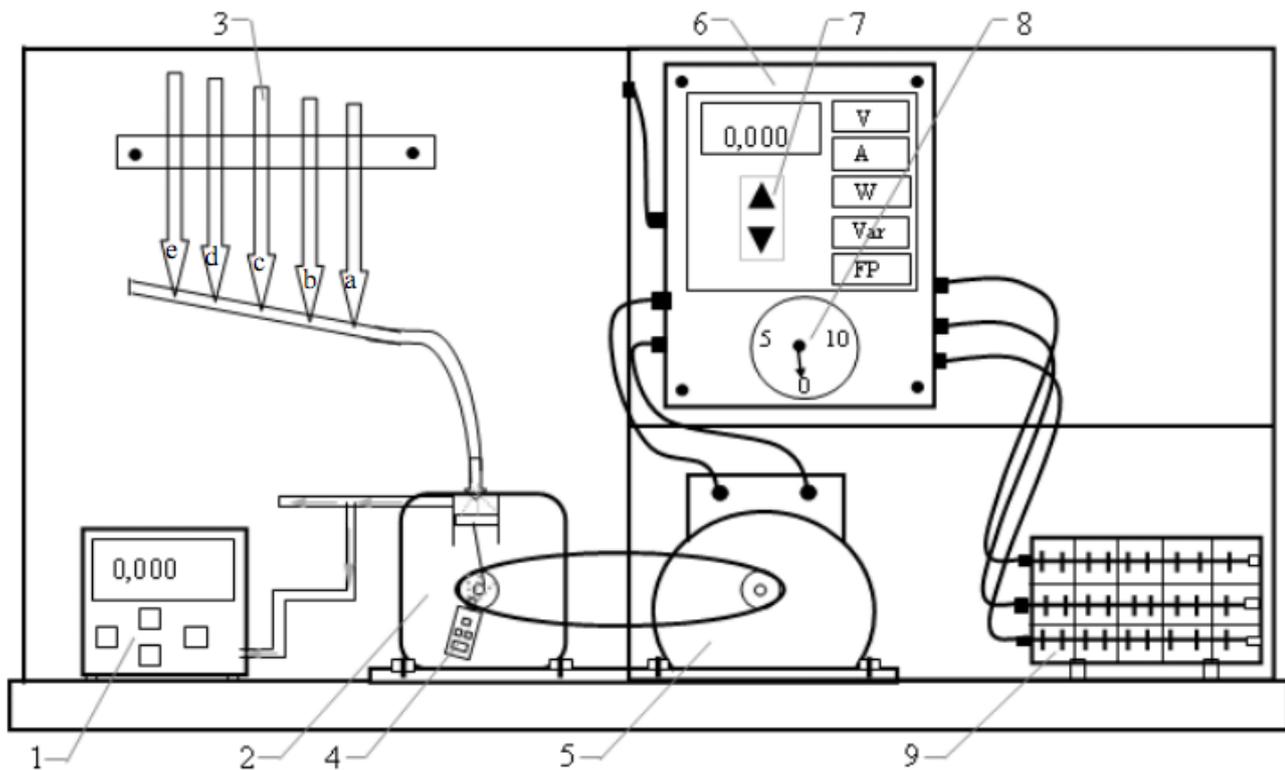


Figura 8. Instalações experimentais com as principais partes: 1 – Analisador de emissão, 2- Motor diesel, 3- sistema de alimentação de combustível, 4- tacômetro, 5- dinamômetro elétrico, 6- unidade Multi-K, 7- seletor de variáveis, 8- célula de carga e 9 – Sistema de dissipação de energia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente foi analisado quanto de água pura as soluções de diesel suportavam. Para isso foi adicionado água às soluções com 1% a 5% de Tensoativo A. Foi analisado também quanto de Glicerina pura conseguimos dissolver na solução de Diesel, idem ao item anterior.

A última etapa dos experimentos consistiu em repetir os procedimentos anteriores adicionando soluções de glicerina as soluções de Diesel. A princípio as concentrações de Glicerina nas soluções foram, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% e 40%. Onde os melhores resultados no que diz respeito a dissolução serão analisados a seguir e utilizados como as novas formulas combustíveis para testes no motor; que são eles 5%, 10%, 15%, 20% e uma solução de 20% de glicerina e 5% de um Tensoativo B.

Titulação com água pura:

M gota água (g)	0.0365	densidade água (g/cm ³)	1.00000	Volume da gota	0.03650
-----------------	--------	-------------------------------------	---------	----------------	---------

Tabela 4. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 1)

Tensoativo A	Água (g)	Volume de água (cm ³)	Concentração ppm
1	0.1095	0.1095	1095
2	0.219	0.219	2190
3	0.5475	0.5475	5475
4	1.0585	1.0585	10585
5	1.46	1.46	14600

Titulação com glicerina pura:

densidade glicerina (g/cm ³)	1.26448
--	---------

Tabela 5. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 2)

Tensoativo A	Solução (g)	Glicerina (g)	Volume de glicerina (cm ³)
1	82,4796	0,01633	0,012914381
2	82,8777	0,0896	0,070859068
3	83,1789	0,05715	0,045196381
4	83,251	0,051	0,040332728
5	83,264	0,051	0,040332728
0,5	82,8448	0,1031	0,081535378

Titulação com solução de glicerina a 5%:

M gota 5% (g)	0.0274	densidade 5% (g/cm ³)	1.01566	Volume da gota	0.02697
---------------	--------	-----------------------------------	---------	----------------	---------

Tabela 6. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 3)

% Tensoativo A	Solução (g)	Glicerina 5% (g)	Volume de glicerina	Volume de solução
1	82.5122	0.137	0.00674438	0.134887599
2	82.3383	0.1644	0.008093256	0.161865119
3	83.1313	0.3288	0.016186512	0.323730238
4	82.7543	0.5754	0.056652792	0.566527916
5	83.4499	1.9454	0.191540391	1.915403907

Titulação com solução de glicerina a 10%:

M gota 10% (g)	0.025	densidade 10% (g/cm ³)	1.02562	Volume da gota	0.024375
----------------	-------	------------------------------------	---------	----------------	----------

Tabela 7. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 4)

% Tensoativo A	Solução (g)	Glicerina 10% (g)	Volume de glicerina	Volume de solução
1	82.776	0.125	0.012187696	0.121876955
2	83.0018	0.2	0.019500313	0.195003128
3	83.0515	1.05	0.102376642	1.023766425
4	83.4784	1.35	0.131627112	1.316271117
5	83.4518	1.875	0.182815433	1.82815433

Titulação com solução de glicerina a 15%:

M gota 15% (g)	0.0508	densidade 15% (g/cm ³)	1.03994	Volume da gota	0.04885
----------------	--------	------------------------------------	---------	----------------	---------

Tabela 8. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 5)

% Tensoativo A	Solução (g)	Glicerina 15% (g)	Volume de glicerina	Volume de solução
1	82.4385	0.2032	0.029309465	0.195396433
2	82.6978	0.3556	0.051291564	0.341943758
3	81.66	2.4384	0.35171358	2.344757197
4	83.1874	2.6416	0.381023045	2.54015363
5	83.5056	3.2004	0.461624073	3.077493822

Titulação com solução de glicerina a 20%:

M gota 20% (g)	0.0376	densidade 20% (g/cm ³)	0.77328	Volume da gota	0.04862
----------------	--------	------------------------------------	---------	----------------	---------

Tabela 9. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 6)

% Tensoativo A	Solução (g)	Glicerina 20% (g)	Volume de glicerina	Volume de solução
1	82.7405	0.1504	0.038899234	0.194496172
2	82.7362	0.2632	0.06807366	0.340368301
3	82.7655	1.5416	0.398717153	1.993585765
4	83.3574	1.692	0.437616387	2.188081937
5	83.2063	2.444	0.632112559	3.160562797

Titulação com solução de glicerina a 20% e 5% de tensoativo B:

M gota (g)	0.0307	densidade (g/cm ³)	1.05670	Volume da gota	0.02905
------------	--------	--------------------------------	---------	----------------	---------

Tabela 10. Quantidade de água dissolvida na solução (experimento 7)

% Tensoativo A	Solução (g)	Solução ADD (g)	Volume de glicerina	Volume de solução
1	102.1569	0.1535	0.029052644	0.145263219
2	102.7255	0.4298	0.081347403	0.406737014
3	102.9579	2.9779	0.56362129	2.818106451
4	102.901	2.7937	0.528758118	2.643790588
5	103.416	2.9165	0.552000233	2.760001164

Plotando-se o gráfico do volume de glicerina VS % das soluções de Diesel com o Tensoativo A temos:

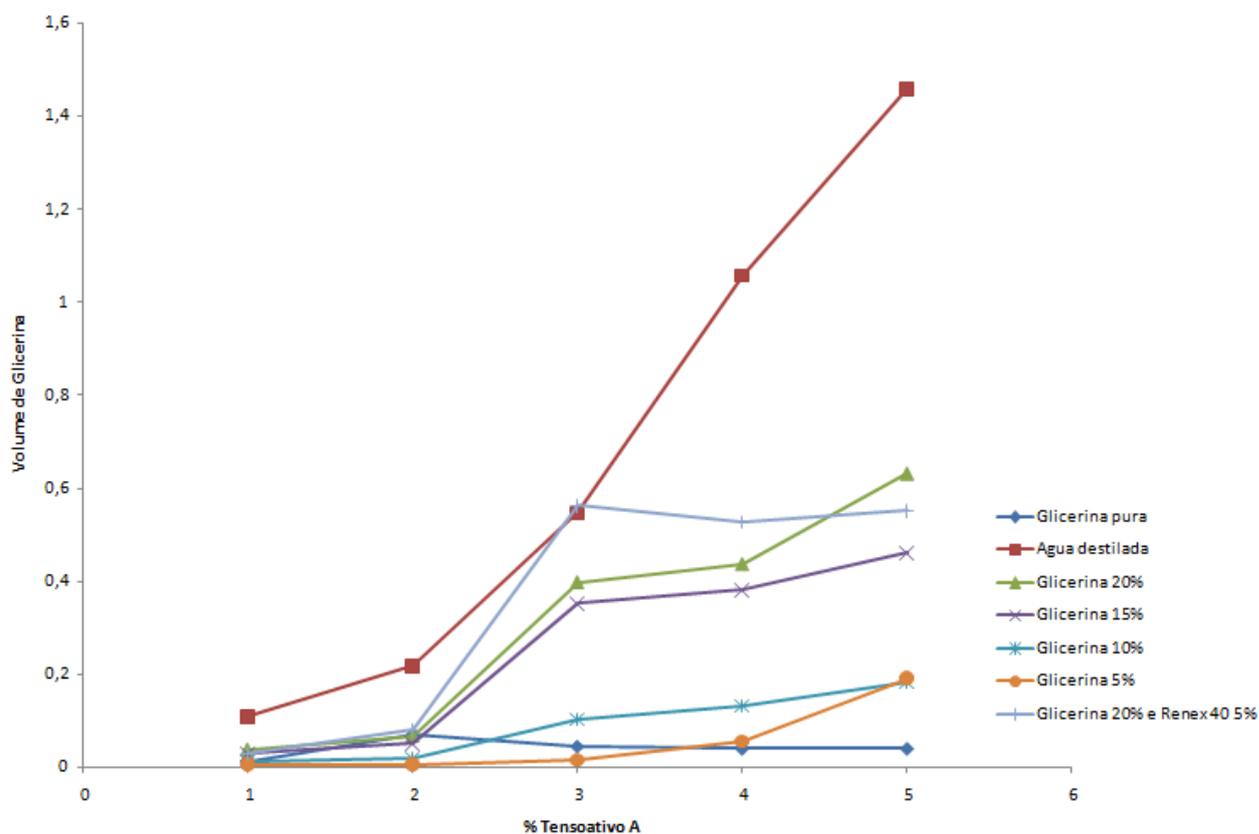


Gráfico 1. Gráfico da dissolução de soluções de glicerina nas soluções do tensoativo A

Podemos perceber pelo gráfico que a dissolução de glicerina pura nas soluções de Diesel contendo 1%, 2%, 3%, 4% e 5% de Renex 50 apresentam baixos valores. As soluções de Diesel suportam a adição de uma boa quantidade de água destilada antes de turvarem. Percebemos ainda que as soluções de glicerina a 5%, 10%, 15%, 20% e 20% de glicerina 5% de Renex 40 apresentam valores intermediários de dissolução, às curvas de água destilada (superior) e glicerina pura (inferior), quando adicionadas as soluções de Renex 50, mas que em alguns pontos o comportamento se torna muito parecido. A partir do ponto 3, no gráfico da Figura 1, as soluções apresentam um crescimento repentino na capacidade de dissolução, notado pelo aumento da inclinação das curvas. Possivelmente, o comportamento anômalo para alguns pontos pode ser explicado pelo fato do diesel e dos tensoativos usados nos experimentos estarem contaminados. Como etapa posterior, as soluções serão testadas em motor diesel.

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento das novas formulações de combustíveis apresentou até o momento resultados satisfatório, sendo que os melhores resultados no que diz respeito à dissolução de glicerina e água já estão definidos e serão testados no motor. Os testes no motor ainda não foram realizados, pois o analisador de emissões GreenLine 8000 encontra-se quebrado o que impossibilita a realização dos testes de desempenho no motor, já que quantificar as emissões geradas pelos novos combustíveis constitui um dos objetivos deste trabalho.

Este trabalho é de suma importância para que possamos nos adequar às leis ambientais de emissão de gases na atmosfera e que possamos obter combustíveis mais eficientes para os motores. Ressalto que até o momento o cronograma de atividades está sendo seguido e as atividades previstas estão sendo realizadas dentro dos prazos estipulados.

6. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

PLANEJAMENTO	2012											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
REVISÃO E ATUALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	█											
TREINAMENTO NO LABORATÓRIO, TESTES PRELIMINARES NO MOTOR	█											
PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS, UTILIZANDO TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO			█									
OBTENÇÃO DAS FORMULAÇÕES DE COMBUSTÍVEIS				█								
TESTE DAS NOVAS FORMULAÇÕES DE COMBUSTÍVEIS NO MOTOR								█				
AValiação DOS RESULTADOS									█			
ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO									█			
PLANEJAMENTO	2013											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
ESTÁGIO OBRIGATÓRIO NA INDÚSTRIA	█											

As tarefas estipuladas até o momento estão sendo cumpridas dentro do cronograma estabelecido. No momento estou cumprindo o estágio obrigatório na Halliburton serviços LTDA base de Mossoró-RN.

7. BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). Portaria ANP N ° 15, de 17 de julho de 2006. **Normas para comercialização de óleo diesel e misturas de óleo diesel/biodiesel-B2 automotivo.** Publicado no Diário Oficial da União em 19 de julho de 2006.

ANDRADE, J. M. V. **Solubilidade de álcool etílico em óleo diesel.** In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, 3. Anais Brasília, 1986, p. 718 – 734.

CARVALHO JUNIOR, J. A.; LACAVALA, P. T. **Emissões em processos de combustão.** Editora UNESP, São Paulo, 2003.

NASCIMENTO, G. F. **Avaliação do desempenho de um motor diesel funcionando com combustíveis alternativos.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: DEM/PPGEM, 1999.

SILVA, A. C. **Estudo de novos sistemas microemulsionados água/ óleo (A/O) visando sua aplicação como combustível.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: DEQ/PPGEQ, 1998.

SANTOS, L. C. L. **Novos sistemas microemulsionados aplicado à quebra de emulsões de petróleo.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: DEQ/PPGEQ, 2002.

ANEXO I
HISTÓRICO ESCOLAR



Histórico Escolar - Emitido em: 25/07/2013 às 09:57

Dados Pessoais

Nome: IGOR MICAEL ALVES UCHÔA Matrícula: 2008023613
Data de Nascimento: 22/06/1988 Local de Nascimento: MOSSORÓ/RN
Nome do Pai: ONECIMO UCHÔA NETO
Nome da Mãe: ILCIVONE ALVES DE OLIVEIRA UCHÔA
Endereço: RUA VIOLETAS, 694 Bairro: MIRASOL
Município: NATAL UF: RN

Dados do Curso

Curso: ENGENHARIA QUÍMICA - NATAL - PRESENCIAL - CT - FORMAÇÃO - MTN

Ênfase:

Currículo: 04 - 2009.1 Status: CONCLUÍDO
Autorização do Curso: Portaria nº 286/2012 - MEC
Ato Normativo: 21/12/2012
Ano/Período Letivo Inicial: 2008.2
Forma de Ingresso: VESTIBULAR
Período Letivo Atual: 10
Trancamentos: Nenhum
Prorrogações: 0 períodos letivos
Ano/Período Letivo de Saída: 2013.1
Tipo Saída: CONCLUÍDO
Trabalho de Conclusão de Curso: Logística de operação de canhões na produção de petróleo

Índices Acadêmicos

MC: 8.4566 MCN: 611.2665

D.O.U.: 27/12/2012

Perfil Inicial: 0

Prazo para Conclusão: 2016.1

Data da Colação de Grau: 19/07/2013

Componentes Curriculares Cursados/Cursando

Ano/Período Letivo	Componente Curricular	CH	Turma	Freq %	Nota	Situação	
2008.2	ENADE	0	--	--	--	--	
2008.2	e DCA0800	ALGORITMOS E LOGICA DE PROGRAMACAO	60	03	100.0	9.0	APROVADO
2008.2	e DEQ0301	INTRODUCAO A ENGENHARIA QUIMICA	45	01	96.0	9.0	APROVADO
2008.2	FIS0311	MECANICA CLASSICA	90	04	100.0	9.2	APROVADO
2008.2	MAT0311	MATEMATICA PARA ENGENHARIA I	90	06	100.0	8.3	APROVADO
2008.2	e QUI0310	QUIMICA GERAL	60	02	100.0	8.0	APROVADO
2008.2	QUI0312	QUIMICA EXPERIMENTAL	45	16	100.0	9.1	APROVADO
2009.1	e ARQ0030	EXPRESSAO GRAFICA	60	01	100.0	7.8	APROVADO
2009.1	FIS0312	ELETRICIDADE E MAGNETISMO	60	07	100.0	8.8	APROVADO
2009.1	FIS0315	FISICA EXPERIMENTAL I	45	10	100.0	7.3	APROVADO
2009.1	MAT0312	MATEMATICA PARA ENGENHARIA II	90	05	100.0	9.4	APROVADO
2009.1	QUI0111	QUIMICA ANALITICA APLICADA	90	03	100.0	9.2	APROVADO
2009.1	QUI0321	QUIMICA INORGANICA	60	01	100.0	9.9	APROVADO
2009.1	QUI0322	QUIMICA INORGANICA EXPERIMENTAL	30	01	100.0	9.9	APROVADO
2009.2	DEQ0503	TERMODINÂMICA QUÍMICA	90	01	92.0	9.2	APROVADO
2009.2	EST0323	ESTADISTICA APLICADA A ENGENHARIA I	60	02	86.0	7.9	APROVADO
2009.2	FIS0316	FISICA EXPERIMENTAL II	45	11	85.0	9.2	APROVADO
2009.2	MAT0314	MATEMATICA PARA ENGENHARIA III	90	01	100.0	9.1	APROVADO
2009.2	e MAT0343	ALGEBRA LINEAR	90	04	100.0	7.8	APROVADO
2009.2	QUI0340	ORGANICA I	60	01	80.0	8.3	APROVADO
2009.2	QUI0341	ORGANICA EXPERIMENTAL I	30	01	100.0	8.7	APROVADO
2010.1	e DEQ0305	FENOMENOS DE TRANSPORTE EXPERIMENTAL	60	02	100.0	8.5	APROVADO
2010.1	DEQ0504	TRANSPORTE DE QUANTIDADE DE MOVIMENTO	60	01	100.0	7.4	APROVADO
2010.1	DEQ0510	TERMODINÂMICA EXPERIMENTAL I	30	01	100.0	8.1	APROVADO
2010.1	DEQ0512	PRINCIPIOS DOS PROCESSOS QUÍMICOS	60	01	94.0	8.4	APROVADO
2010.1	e DEQ0530	QUALIDADE E SEGURANCA NA INDÚSTRIA QUIMICA	30	02	100.0	7.6	APROVADO

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <http://www.sigaa.ufrn.br/documentos/> informando a matrícula, data de emissão e o código de verificação: c2018a1587

Página 1 de 3

Histórico Escolar - Emitido em: 25/07/2013 às 09:57

Nome: **IGOR MICAEL ALVES UCHÔA**

Matrícula: **2008023613**

Componentes Curriculares Cursados/Cursando

Ano/Período Letivo		Componente Curricular	CH	Turma	Freq %	Nota	Situação
2010.1	e	ECO0311 ECONOMIA PARA ENGENHARIA	60	03	100.0	9.1	APROVADO
2010.1		FIS0313 ONDAS E FISICA MODERNA	60	01	100.0	7.6	APROVADO
2010.1		QUI0342 ORGANICA II	60	01	94.0	7.8	APROVADO
2010.1		QUI0343 ORGANICA EXPERIMENTAL II	30	02	100.0	8.7	APROVADO
2010.2		DEQ0506 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	60	01	100.0	9.2	APROVADO
2010.2		DEQ0509 TERMODINAMICA DO EQUILIBRIO	60	01	88.0	7.2	APROVADO
2010.2		DEQ0513 MÉTODOS COMPUTACIONAIS APLICADOS À ENGENHARIA QUÍMICA	60	01	88.0	8.2	APROVADO
2010.2		DEQ0514 PROCESSOS DAS INDUSTRIAS QUIMICAS	30	01	100.0	8.7	APROVADO
2010.2		DEQ0519 TERMODINÂMICA EXPERIMENTAL II	30	01	100.0	8.3	APROVADO
2010.2		DEQ0521 CINÉTICA E REATORES QUÍMICOS	90	01	90.0	7.5	APROVADO
2010.2		DEQ0529 INSTRUMENTAÇÃO NA INDÚSTRIA QUÍMICA	30	01	100.0	8.4	APROVADO
2010.2		ELE0390 ELETROTECNICA BASICA	60	05	97.0	9.7	APROVADO
2011.1		DEQ0507 TRANSFERÊNCIA DE MASSA	60	01	97.0	7.0	APROVADO
2011.1	*	DEQ0511 TERMODINAMICA DE PROCESSOS	60	01	100.0	8.6	APROVADO
2011.1		DEQ0515 OPERAÇÕES UNITÁRIAS COM SISTEMAS SÓLIDO-FLUIDO	60	01	100.0	8.4	APROVADO
2011.1		DEQ0516 LABORATÓRIO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS I	30	01	100.0	9.0	APROVADO
2011.1		DEQ0523 INTRODUÇÃO AOS BIOCATALISADORES	60	01	100.0	7.8	APROVADO
2011.1		DEQ0531 ENGENHARIA AMBIENTAL	60	01	100.0	8.8	APROVADO
2011.1	*	DEQ0545 SECAGEM	30	01	88.0	8.6	APROVADO
2011.2		DEQ0517 OPERAÇÕES UNITÁRIAS COM TROCA DE CALOR E MASSA	90	01	82.0	8.2	APROVADO
2011.2		DEQ0518 LABORATÓRIO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS II	30	02	100.0	8.4	APROVADO
2011.2		DEQ0522 CÁLCULO DE REATORES	60	01	100.0	7.1	APROVADO
2011.2		DEQ0524 ENGENHARIA BIOQUÍMICA	60	01	100.0	7.2	APROVADO
2011.2		DEQ0525 CIENCIA E ENGENHARIA DOS MATERIAIS	60	01	100.0	7.5	APROVADO
2011.2		DEQ0526 MODELAGEM E SIMULACAO DE PROCESSOS QUIMICOS	60	01	83.0	7.9	APROVADO
2011.2		DEQ0528 ENGENHARIA DE PROCESSOS	60*	01	86.0	8.9	APROVADO
2011.2		DEQ0534 INTRODUÇÃO AO PROJETO DE PROCESSOS	30	02	100.0	8.7	APROVADO
2011.2	@	DEQ0535 PROJETO DE PROCESSOS QUÍMICOS	30	--	100.0	8.7	APROVADO
2012.1	*	DEF0650 ATIVIDADE FISICA, SAUDE E QUALIDADE DE VIDA	60	11	100.0	9.3	APROVADO
2012.1	@	DEQ0024 ATIVIDADE COMPLEMENTAR	245	--	100.0	--	APROVADO
2012.1	*	DEQ0375 SEMINARIOS DE PETROLEO E GAS NATURAL	60	01	100.0	8.5	APROVADO
2012.1	*	DEQ0376 INTRODUCAO A ENGENHARIA DE PETROLEO	60	01	91.0	7.9	APROVADO
2012.1		DEQ0527 CONTROLE DE PROCESSOS	60	01	94.0	7.0	APROVADO
2012.1	*	DEQ0552 INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE GÁS NATURAL	30	01	100.0	9.4	APROVADO
2012.1	#	PTR0302 PROCESSAMENTO PRIMÁRIO DE PETRÓLEO	60	01	100.0	9.9	APROVADO
2012.2	@	DEQ0536 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	0	--	--	9.0	APROVADO
2013.1	@	DEQ0537 ESTAGIO SUPERVISIONADO	360	--	100.0	8.7	APROVADO
2013.1		ENADE Dispensado(a) em razão do calendário trienal (Portaria 40-2007/MEC, art. 33-G, §2º). DATA DA PROVA: 24/11/2013	0	--	--	--	--

Legenda

* Comp. Optativo	e Comp. Equivalente a Obrig.	& Comp. Equivalente a Optativo	# Comp. Eletivo	@ Ativ. Obrigatória	§ Ativ. Optativa
------------------	------------------------------	--------------------------------	-----------------	---------------------	------------------

	Obrigatórias				Opativos		Total	
	Comp. Curricular		Atividade	CH Total	Comp. Curricular/Atividade		Total	
	CR	CH	CH		CH	CR		
Exigido	195	2925	635	3560	360	195	3920	
Integralizado	195	2925	635	3560	360	195	3920	
Pendente	0	0	0	0	0	0	0	



SIGAA - Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas
UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte
PROGRAD - Pró-Reitoria de Graduação
DACA - Diretoria de Administração e Controle Acadêmico
Campus Universitário BR-101 - Lagoa Nova - Natal/RN - CEP 59078-900



Histórico Escolar - Emitido em: 25/07/2013 às 09:57

Nome: **IGOR MICAEL ALVES UCHÔA** Matrícula: **2008023613**

Atenção, agora o histórico possui uma verificação automática de autenticidade e consistência, sendo portanto dispensável a assinatura da coordenação do curso ou DACA. Favor, ler instruções no rodapé.

ANEXO II

PUBLICAÇÕES

"Sem publicações"

ANEXO III
CERTIFICADOS



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

A Reitora da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, no uso de suas atribuições e tendo em vista a conclusão do Curso de Engenharia Química, em 19 de julho de 2013, confere o título de Engenheiro a

Por **Michael Alves Melhã**

brasileiro, natural do Estado do Rio Grande do Norte, nascido em 22 de junho de 1988, e outorga-lhe o presente diploma, para que possa gozar de todos os direitos e prerrogativas legais.

Natal/RN, 25 de julho de 2013.

Adelardo Avelino Dantas de Medeiros
Diretor de Administração e Controle Acadêmico

Por **Michael Alves Melhã**
DIPLOMADO

RG: 2048312 SSP/RN

Ângela Maria Paiva Cruz
Reitora



ESCALADA IMPRESSOS DE SEGURANÇA

HALLIBURTON

RODOVIA BR-304 KM 52, S/N • ZONA RURAL - MOSSORÓ

TELEFONE (84) 3315-5700

DECLARAÇÃO

À quem interessar,

Declaramos para os devidos fins, que o sr. **Igor Micael Alves Uchôa** é estagiário desta empresa, registrado no 534473, e cumpriu até o momento 360 horas de estágio obrigatórias, além de 480 horas a mais.

Por ser verdade, assinamos a presente declaração.

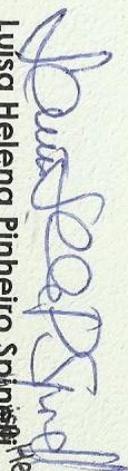
Mossoró, 12 de Junho de 2013.


Dalila Muniz
Human Resources
Halliburton Serviços LTDA
Rod. BR 304 Km 52 Zona Rural
Mossoró- RN
Phone: 55 84 3315-5710

HALLIBURTON
DALILA MUNIZ
ID HBBUB893
BR/RS 251519

CERTIFICADO

Certificado de **FREQÜÊNCIA** de estágio do curso de **Engenharia Química**, realizado no período de **23/07/2012** a **31/10/2012** totalizando **268 horas**, conferido a **Igor Micael Alves Uchôa**.



Luisa Helena Pinheiro Spínelli
Gerente de Desenvolvimento de Recursos Humanos

Operações de Exploração e Produção do Rio Grande do Norte e Ceará



UO-RNCE/RH/DRH