

Monografia de Graduação

NOVAS FORMULAÇÕES DE COMBUSTÍVEIS BASE DIESEL MICROEMULSIONADO COM GLICERINA

PEDRO HENRIQUE PEREIRA DA COSTA

Natal, junho de 2015

Pedro Henrique Pereira da Costa

**Novas formulações de combustíveis base
diesel microemulsionados com glicerina**

Trabalho de Conclusão de curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Química da Universidade
Federal do Rio Grande do Norte.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lins de
Barros Neto

Natal-RN

Junho, 2015

Dedico esta monografia a minha família...

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus por iluminar meu caminho e me proporcionar à oportunidade de realizar este sonho.

A minha querida família que sempre me ajudaram e estiveram ao meu lado em todos os momentos, sem eles isso não seria possível.

Ao professor doutor Eduardo Lins de Barros Neto por sua orientação, amizade, conselhos e por sempre está disposto a ajudar quando precisei muito obrigado!

Aos professores da graduação em engenharia química, por todo o conhecimento passado e pela dedicação aos alunos.

Aos amigos do Núcleo de Pesquisa em Petróleo e Gás (NUPEG).

Aos meus amigos de graduação, especialmente a minha amiga Leticia Maia Rezende Costa por toda ajuda prestada.

A todos os meus amigos da Residência Universitária, especialmente, meus companheiros de apartamento “família 305”.

A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, especialmente ao PRH-14, pelo apoio financeiro e pela contribuição no desenvolvimento pessoal e profissional.

Costa, Pedro Henrique Pereira da – Novas Formulações De Combustíveis Base Diesel Microemulsionados Com Glicerina. Trabalho de conclusão de curso, UFRN, Departamento de Engenharia Química, Programa de Recursos Humanos–PRH ANP 14. Áreas de Concentração: Engenharia de Processos em Plantas de Petróleo e gás, Natal/RN, Brasil.

Orinetador: Prof. Dr. Eduardo Lins de Barros Neto

RESUMO: O óleo diesel é um composto derivado do petróleo constituído principalmente por carbono, hidrogênio, e em baixas concentrações enxofre, nitrogênio e oxigênio. É um produto pouco inflamável, medianamente tóxico, pouco volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico. O diesel é o principal combustível líquido comercializado no mercado brasileiro. Atualmente, são adicionados 5% de biodiesel ao óleo diesel com o objetivo de reduzir as emissões de poluentes. O principal objetivo deste trabalho é criar um modelo matemático que descreva as formulações de combustíveis base diesel aditivados com (água/glicerina/tensoativos), a fim de para aproveitar o potencial energético máximo da glicerina e oferecer menor potencial poluidor possível. As formulações foram desenvolvidas seguindo um planejamento fatorial completo do tipo 2^3 com duplicata no ponto central onde as variáveis independentes estudadas foram: Massa dos tensoativos (Mt), proporção entre tensoativos (Prop) e concentração da solução de glicerina (Sol%). O resultado esperado no processo foi à porcentagem mássica da solução de glicerina (%M_G) suportada pelo diesel, antes do ponto de turbidez. Na modelagem estatística a partir da análise do diagrama de Pareto percebeu-se que todos os parâmetros estudados foram significativos ao processo. A metodologia de superfície de resposta foi utilizada como ferramenta de avaliação do ponto ótimo do processo e um modelo teórico foi gerado para descrever os dados experimentais, mostrando um bom ajuste. O cálculo da ANOVA revelou que o modelo obtido no estudo tem caráter significativo e preditivo.

Palavras-chave: Óleo diesel, tensoativos, glicerina, planejamento experimental.

Costa, Pedro Henrique Pereira da – Novas Formulações De Combustíveis Base Diesel Microemulsionados Com Glicerina. Trabalho de conclusão de curso, UFRN, Departamento de Engenharia Química, Programa de Recursos Humanos–PRH ANP 14. Áreas de Concentração: Engenharia de Processos em Plantas de Petróleo e gás, Natal/RN, Brasil.

Orinetador: Prof. Dr. Eduardo Lins de Barros Neto

Abstract: Diesel fuel is a compound derived from petroleum consisting mainly of carbon, hydrogen, and low concentrations of sulfur, nitrogen and oxygen. It is a product that has low flammability, medium toxicity, little volatile, clear, free from suspended matter and with a strong and characteristic odor. The diesel is the main liquid fuel sold in Brazil. Currently, it is added 5% of biodiesel to diesel fuel in order to reduce pollutant emissions. The main objective of this work is to create a mathematical model that describes the formulations of based diesel fuels with additives (water / glycerin / surfactant) in order to make the most energy potential of glycerin and offer less potential polluter possible. The formulations were developed following a full factorial design type 2^3 with a duplicate in the midpoint where the independent variables were: Mass of surfactants (Mt), ratio of surfactants (Prop) and concentration of glycerin (Sun%). The expected outcome in the process was the mass percentage of glycerin solution(% BF) supported by diesel, before the turbidity point. In statistical modeling based on the analysis of Pareto diagram was realized that all parameters studied were significant to the process. The response surface methodology was used as an evaluation tool of the optimal point in the process and a theoretical model was generated to describe the experimental data, showing a good fit. The calculation of ANOVA revealed that the model obtained in the study has significant character and predictive.

Keywords: diesel oil, surfactants, glycerin, experimental design.

Sumário

Listade figuras.....	x
Listade tabelas.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Óleo Diesel.....	5
2.2 Propriedades e especificações do combustível diesel	7
2.2.1 Viscosidade.....	7
2.2.2 Volatilidade.....	7
2.2.3 Calor de vaporização	7
2.2.4 Ponto de névoa	8
2.2.5 Número de cetano.....	9
2.2.6 Ponto de escoamento	9
2.2.7 Ponto de fulgor.....	9
2.2.8 Densidade.....	11
2.2.9 Teor de enxofre	11
2.2.10 Corrosão	12
2.3 O ciclo diesel.....	12
2.4 Parâmetros de desempenho dos motores diesel	14
2.4.1 Potencia efetiva (<i>Ne</i>)	14
2.4.2 Potencia indicada	14
2.4.3 Potencia de atrito.....	14
2.4.4 Torque	14
2.4.5 Consumo específico de combustível (<i>Ae</i>).....	15

2.4.6	Rendimento volumétrico (ηv).....	15
2.4.7	Rendimento total (η).....	16
2.5	Biodiesel.....	16
2.6	Glicerol.....	18
2.7	Tensoativos.....	20
2.7.1	Classificação dos tensoativos.....	21
2.7.1.1	Tensoativo catiônico.....	22
2.7.1.2	Tensoativo aniônico.....	22
2.7.1.3	Tensoativo anfótero.....	22
2.7.1.4	Tensoativo não iônico.....	23
2.7.2	Propriedades dos tensoativos.....	23
2.7.2.1	Micelização.....	23
2.7.2.2	Adsorção nas interfaces.....	25
2.7.2.3	Ponto de Grafft.....	25
2.7.2.4	Ponto de turbidez.....	26
2.7.2.5	Noções de balanço hidrofílico-lipofílico (BHL).....	27
2.8	Microemulsão.....	27
2.8.1	Classificação de Winsor.....	28
2.10	Planejamento experimental.....	29
3.	METODOLOGIA.....	31
3.1	Materiais.....	31
3.2	Métodos.....	31
3.2.1	Procedimento experimental.....	31
3.2.2	Planejamento experimental.....	32

4. Resultados e Discursões.....	35
4.1 Obtenção do modelo para a formulação do óleo diesel microemulsionado.....	35
4.2 Otimização utilizando a superfície de resposta.....	36
4.3 Validação do modelo.....	38
5. Conclusões.....	40
6. Referências Bibliográficas.....	42

Lista de figuras

Figura 1: Consumo de diesel no mercado brasileiro.....	6
Figura 2: Apresenta o ciclo padrão de ar Diesel.	12
Figura 3: Reação de transesterificação	17
Figura 4: Principais matérias primas utilizadas na produção do biodiesel	18
Figura 5: Estrutura molecular da glicerina	19
Figura 6: Áreas de aplicação da glicerina.....	20
Figura 7: Estrutura do tensoativo.....	21
Figura 8: Formação da CMC	24
Figura 9: Micelas direta e indireta, respectivamente.....	24
Figura 10: Curva de turbidez dos tensoativos não iônicos.....	26
Figura 11: As fases de Winsor.....	28
Figura 12: Diagrama de Pareto.....	36
Figura 13: Superfície de resposta com a variável concentração de glicerina fixa	37
Figura 14: Superfície de resposta com a variável proporção de tensoativos fixa.....	37
Figura 15: Valores previstos versus valores experimentais	38

Lista de tabelas

Tabela 1: Classificação dos combustíveis quanto ao ponto de fulgor ...	10
Tabela 2: Propriedades da glicerina	19
Tabela 3: Escala de BHL	27
Tabela 4: Matriz codificada do planejamento experimental	32
Tabela 5: Valores reais e níveis dos fatores	32
Tabela 6: Ensaios feitos seguindo o planejamento experimental	33
Tabela 7: Porcentagem mássica da solução de glicerina incorporada ao diesel	35
Tabela 8: ANOVA	35

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial quando o homem passou a utilizar máquinas a vapor para gerar trabalho, busca-se a otimização do desempenho e adequação aos variados tipos de combustíveis.

Os motores de combustão interna geram trabalho pela transformação de energia calorífica proveniente da reação de combustão da mistura ar/combustível, em condições adequadas para que tal reação ocorra, em energia mecânica e fundamenta-se no fato da expansão dos gases ao serem aquecidos. A pressão gerada pela expansão dos gases é controlada para movimentar as partes mecânicas do motor. Esses motores podem trabalhar com combustíveis líquidos ou gasosos.

As características do combustível escolhido para o funcionamento do motor possuem considerável influência sobre seu projeto, porque estas alteram a potência, consumo, eficiência e, conseqüentemente, confiabilidade e durabilidade do motor.

A escolha de uma fonte energética leva em consideração vários fatores preponderantes, tais como, técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

Dentre os possíveis combustíveis que podem ser utilizados nos motores de combustão interna temos os de origem fóssil, por exemplo, o diesel, utilizado em motores que levam o nome de motores diesel, pois são motores que apresentam o ciclo termodinâmico diesel. Estes motores são também grandes poluidores do meio ambiente, porque emitem gases tóxicos e material particulado na atmosfera.

Atualmente com a conscientização para o desenvolvimento sustentável e a adequação as leis ambientais cada vez mais rígidas, muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de melhorar a eficiência energética dos combustíveis e reduzir a emissão de poluentes. Com esse objetivo algumas das opções são: mistura de diesel com biodiesel, diesel com água, que são as microemulsões, e as emulsões de água em óleo.

Mas alguns desses métodos utilizados geram subprodutos que precisam ser tratados ou utilizados de alguma forma, por exemplo, a glicerina que é um subproduto da reação de transesterificação na produção do biodiesel. Este trabalho fará uma formulação para a adição da glicerina a microemulsão A/O.

Os motores que funcionam com diesel microemulsionado com água trabalham a temperaturas mais baixas em relação aos que queimam diesel puro, podendo assim possuir um sistema de arrefecimento mais simples (Selim e Elfeky, 2001). A utilização desta microemulsão torna a queima do diesel na câmara de combustão mais eficiente e reduz à emissão de poluentes, esta é uma característica importante nos dias atuais para as grandes cidades, com imensa quantidade de automóveis emitindo poluentes todos os dias, assim como para o cidadão que possuirá motores mais eficientes em seus automóveis e uma melhor qualidade de vida, porque estará exposto a uma quantidade menor de poluição.

Diante destes fatos este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um modelo matemático que descreva as formulações de combustíveis base diesel aditivados com água/glicerina/tensoativos, propostas para aproveitar o potencial energético máximo da glicerina e oferecer menor emissão de poluentes possível.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Óleo Diesel

O óleo diesel é um combustível derivado do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos, ele é um composto formado principalmente por átomos de carbono, hidrogênio, e em baixas concentrações, por enxofre, nitrogênio e oxigênio. O diesel é selecionado de acordo com suas características de ignição e de escoamento, adequadas ao funcionamento dos motores ciclo diesel. É um produto pouco inflamável, medianamente tóxico, pouco volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico. Recebeu este nome em homenagem ao engenheiro alemão Rudolf Diesel que inventou um meio mecânico para explorar a reação química originada da mistura de óleo e do oxigênio presente no ar.

O diesel possui ponto de ebulição entre 200 e 360°C, proveniente da destilação do petróleo, através de processos de síntese ou craqueamento catalítico a baixas temperaturas. Normalmente este combustível é obtido por destilação atmosférica e a vácuo. Tem poder calorífico médio (ou calor de combustão) de 10.688 kcal/kg (Cardoso et al., 2006).

O óleo Diesel, em suas diversas denominações, é o principal combustível comercializado no mercado brasileiro, utilizado no transporte de cargas e de passageiros, em embarcações, na indústria, na geração de energia, nas máquinas para construção civil, nas máquinas agrícolas e locomotivas, atendendo as necessidades dos consumidores e as mais avançadas tecnologias em motores a combustão interna.

Podemos observar o consumo do diesel no mercado brasileiro através da figura 1:

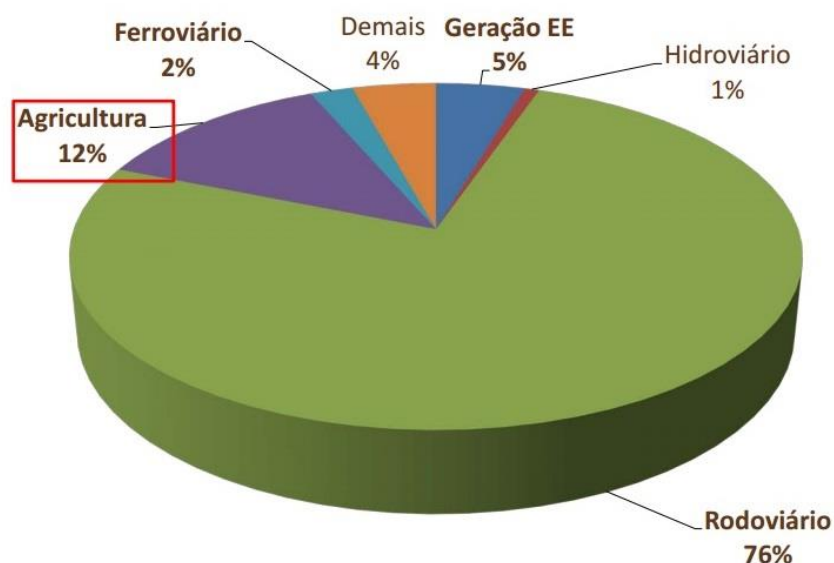


Figura 1- Consumo de diesel no mercado brasileiro

Para ser comercializado o diesel precisa atender determinadas características e normas estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). De acordo com a resolução da ANP Nº 50, DE 23.12.2013 - DOU 24.12.2013, que regulamenta as especificações do óleo diesel de uso rodoviário e as obrigações quanto ao controle da qualidade que será atendido pelos diversos revendedores que comercializam o produto em todo o país. Em concordância com esta resolução o combustível é classificado como óleo diesel A, destinado a veículo com motor ciclo diesel, de uso rodoviário, quando não há a adição de biodiesel a sua formulação e óleo diesel B quando é feita a adição do biodiesel a sua formulação no teor estabelecido pela legislação vigente.

O óleo diesel A S500 e B S500 apresentam teor de enxofre máximo de 500 mg/kg. O óleo diesel A S10 e B S10 são combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 10 mg/kg.

2.2 Propriedades e especificações do combustível diesel

2.2.1 Viscosidade

É uma medida da resistência oferecida pelo diesel ao escoamento. Seu controle visa permitir uma boa atomização do óleo e preservar sua característica lubrificante. 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. Viscosidades superiores à faixa podem levar a um aumento do trabalho da bomba de combustível, que trabalhará forçada e apresentará menor vida útil, além de dificultar a atomização do combustível, ocasionando uma combustão incompleta e aumento da emissão de fumaça e material particulado.

2.2.2 Volatilidade

A volatilidade do diesel é medida pela temperatura de destilação versus percentual evaporado na pressão atmosférica. Por exemplo, um diesel comum consiste de uma mistura de componentes hidrocarbonetos que evaporam numa faixa de 186 a 390°C. Em 50% do volume recuperado de uma amostra de 100 mL, a temperatura de destilação está entre 245 e 310°C, e para 85% do volume recuperado da mesma amostra de 100 mL, a temperatura de destilação fica na faixa de 360 a 370°C (conforme RESOLUÇÃO ANP Nº 15, 2006). A boa volatilidade garante um arranque mais fácil do motor, devido a melhor combustão da mistura, produzindo níveis aceitáveis de particulados.

2.2.3 Calor de vaporização

O calor de vaporização de um líquido é a quantidade de calor suficiente para evaporar um mol deste líquido sem mudar a sua temperatura.

O calor de vaporização pode ter um efeito de aquecimento ou resfriamento na mistura ar-combustível, o baixo calor de vaporização

proporciona uma combustão mais completa, reduzindo as emissões. O alto calor de vaporização provoca atraso de ignição do combustível, quando este é pulverizado no ar aquecido, devido ao resfriamento da temperatura do ar. Os combustíveis de elevado ponto de ebulição levam a um atraso da ignição, quando evapora após a injeção. O retardo na ignição deve ser o mínimo possível; senão chega à câmara de combustão uma quantidade excessiva de combustível não queimado, provocando aumento de pressão no próximo tempo de compressão, diminuição da lubricidade entre as camisas dos cilindros e os anéis de segmento do pistão.

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

2.2.4 Ponto de névoa

O ponto de névoa é a temperatura na qual cristais de parafina começam a surgir. As parafinas contidas em hidrocarbonetos de elevado ponto de ebulição são produtos sólidos a temperatura ambiente e, portanto, separam-se dos demais componentes. No diesel elas se mantêm dissolvidas, mas a baixas temperaturas, dependendo da concentração de parafinas, estas podem se separar dos outros constituintes 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 sazonalidade. Para reduzir a ocorrência deste problema são utilizados aditivos em dosagens bastante reduzidas (Peralta, 2000).

2.2.5 Número de cetano

O número de cetano no diesel está para o motor diesel assim como o número de octanas na gasolina está para o motor ciclo Otto. Fisicamente, 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 correto. Isso causará um funcionamento incorreto do motor, pois quando a queima acontecer produzirá uma quantidade de energia superior àquela necessária. Esse excesso de energia força o pistão a descer com velocidade superior a normal, o que provocará sobrecarga sobre os pistões, podendo causar danos mecânicos e perda de potência.

2.2.6 Ponto de escoamento

O ponto de escoamento representa à temperatura mínima a qual o diesel flui ou escoar, ao ser submetido a um processo de resfriamento. O ponto de escoamento indica a temperatura abaixo da qual não é possível utilizar a gravidade para transportar o combustível do reservatório ao motor (Luciano, 1991).

2.2.7 Ponto de fulgor

O 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. Trata-se de um dado importante para classificação dos produtos combustíveis, em especial no que se refere à segurança, aos riscos de transporte, armazenagem e manuseio.

O ponto de fulgor é uma característica do diesel que está relacionada à sua inflamabilidade e serve como parâmetro de segurança que deve ser seguido durante o manuseio, transporte, armazenamento e uso do produto. O

Ponto de Fulgor não tem interferência direta no funcionamento do motor (Luciano, 1991).

Através do ponto de fulgor distinguem-se os líquidos combustíveis e inflamáveis, de acordo com a Norma Regulamentadora NR-20/98 e como mostra a tabela 1:

Tabela 1: Classificação dos combustíveis quanto ao ponto de fulgor

Ponto de fulgor (PF)	Classificação
$70^{\circ}\text{C} \geq \text{PF} < 93,3^{\circ}\text{C}$	Líquido combustível classe III
$37,7^{\circ}\text{C} > \text{PF} < 70^{\circ}\text{C}$	Líquido combustível classe II
$\text{PF} < 37,7$	Líquido combustível classe I
$\text{PF} < 70^{\circ}\text{C}$ e pressão de vapor $< 2,8 \text{ kgf/cm}^2$	Líquido inflamável

2.2.8 Densidade

A densidade revela 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, muda-se a massa de combustível injetada.

Altas densidades causam um enriquecimento da mistura (ar + combustível), provocando acréscimo das emissões de particulados, monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos. Porém, para valores muito baixos de densidade ocorre perda de potência e problemas de dirigibilidade (Martinelli Jr., 1998).

2.2.9 Teor de enxofre

Na constituição química do petróleo existem compostos de enxofre que, após o refino será retirado do diesel afim de que apresente um teor mínimo de enxofre. Quando é feita a combustão do diesel, o enxofre presente se transforma em óxidos de enxofre (SO_x), que são emitidos para atmosfera ou se transformam em ácidos na câmara de combustão, provocando o desgaste de anéis, cilindros e da própria câmara. Portanto, um teor de enxofre menor no diesel aumenta a vida útil do motor e diminui a emissão de poluentes, como, a emissão de particulados e óxidos de enxofre, que são agentes precursores da chuva ácida.

Entretanto, os compostos de enxofre presentes no diesel possuem um efeito positivo nas propriedades do combustível, porque aumentam sua lubricidade. Os processos utilizados na redução da concentração desses compostos no óleo diesel provocam a redução da sua lubricidade, fazendo com que seja necessária a aditivação, em determinados casos, para manter esta propriedade em nível aceitável (Ramos, 2003).

2.2.10 Corrosão

A corrosão e o desgaste estão associados à presença de enxofre, cinzas e resíduos do combustível. O combustível não pode 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. Tendo em vista que o óleo diesel é um bom lubrificante, sendo assim usado para lubrificar parte da bomba de injeção de combustível (Martinelli Jr., 1998).

2.3 O ciclo diesel

O motor de ciclo diesel caracteriza-se pelo fato de o ar ser admitido no cilindro e comprimido até atingir altas temperaturas. A injeção de combustível, teoricamente, só se inicia ao final do tempo de compressão e é feita a uma taxa que possibilita a queima à pressão constante (WYLEL et al., 1998). O ar é admitido à câmara no primeiro ciclo. No segundo ciclo, o pistão faz a compressão dessa massa de ar e ao término da compressão, injeta-se combustível a alta pressão no interior da câmara. Dada as altas temperatura e pressão no interior da câmara, a mistura sofre a explosão ao final do ciclo. A expansão do gás resultante da explosão, após a injeção do diesel, origina o terceiro ciclo. Finalmente o resultado da explosão é liberado pelas válvulas, quando então, reinicia-se o processo, de acordo com a figura 2.

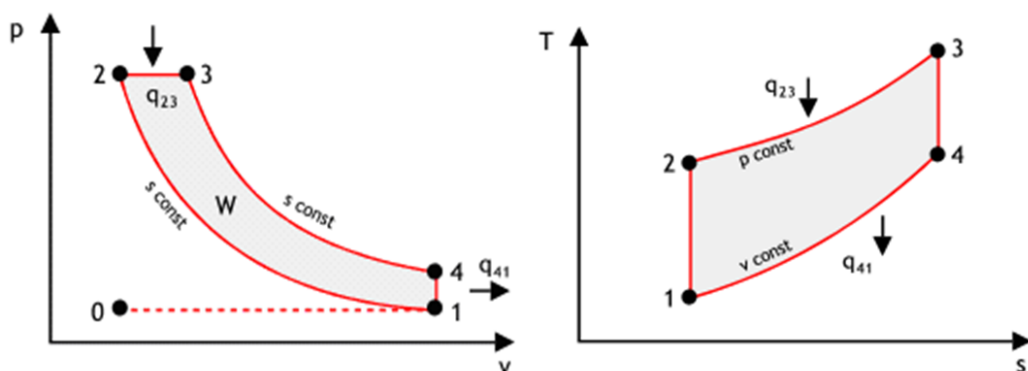


Figura 2: Apresenta o ciclo padrão de ar Diesel.

O ciclo diesel consiste das seguintes etapas:

1 → 2 compressão isentrópica com aumento da temperatura;

2 → 3 absorção de calor a pressão constante e injeção do combustível;

3 → 4 expansão isentrópica com redução da temperatura;

4 → 1 expulsão dos gases a volume constante e perda de calor.

O rendimento térmico teórico do ciclo diesel fechado equivalente é dado pela equação (1):

$$\eta_{tt} = \frac{q_{23} - q_{41}}{q_{23}} = 1 - \frac{q_{41}}{q_{23}} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{r^\gamma} \left[\frac{a^\gamma - 1}{\gamma(a - 1)} \right] \quad (1)$$

Onde:

η_{tt} = 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];

r é a taxa de compressão do motor (v_1/v_2);

a é a taxa de expansão (v_3/v_2);

$\gamma = c_p/c_v$ ($\gamma = 1,4$ para Ar)

2.4 Parâmetros de desempenho dos motores diesel

2.4.1 Potencia efetiva (N_e)

Representa a potência retirada no eixo do motor, possuindo assim grande interesse prático. Ela pode ser medida por um dispositivo frenante utilizado no eixo do motor, denominado dinamômetro.

Podem-se obter dois tipos de potência efetiva: bruta ou líquida.

A bruta é obtida com o motor básico, ou seja, equipado somente com os componentes essenciais a sua operação.

A líquida é obtida com o motor completamente equipado, com todos os componentes necessários ao funcionamento autônomo (Heywood, 1988).

2.4.2 Potencia indicada

É a potência desenvolvida na câmara de combustão, isto é, o percurso que o pistão faz ao ir do ponto morto superior (PMS) ao ponto morto inferior (PMI) produto da combustão da mistura (ar + combustível) (Heywood, 1988).

2.4.3 Potencia de atrito

É a potência usada para vencer o atrito entre as partes mecânicas em movimento, acionar acessórios, e para efetuar a aspiração da mistura (ar + combustível) e promover a expulsão dos gases de descarga (Heywood, 1988).

2.4.4 Torque

É o momento de torção ao qual está sujeito o motor. O valor do torque pode ser medido através do banco dinamométrico. Este relaciona a força aplicada a um determinado ponto do eixo através de um braço de alavanca e o torque é proporcional ao comprimento do braço. Para uma determinada rotação, o momento de torção está mostrado na equação (2):

$$\overline{M}_t = \vec{F} \cdot L \quad (2)$$

Onde:

\vec{M}_t - é o momento de torção;

L - braço de força;

\vec{F} - força.

2.4.5 Consumo específico de combustível (A_e)

É a quantidade de combustível consumida pelo motor por unidade de potência produzida, durante determinado período de funcionamento. É um parâmetro muito utilizado para demonstrar o quanto que o motor está transformando de combustível em trabalho. Para obter o consumo específico de combustível de um motor a certa rotação divide-se o consumo horário (C_H) pela potência efetiva (N_e), produzida à mesma rotação (Heywood, 1988).

O consumo específico de combustível (A_e) é calculado pela equação (3).

$$A_e = \frac{C_H}{N_e} \quad (3)$$

Onde:

A_e - Consumo específico de combustível ($g/CV.h$);

C_H - Consumo horário de combustível (g/h);

N_e - Potência efetiva (CV).

2.4.6 Rendimento volumétrico (η_v)

É definido como a relação entre o peso de ar efetivamente introduzido na câmara de combustão no curso de admissão, e o peso teórico que seria necessário para ocupar o mesmo volume nas condições de pressão e temperatura ambiente, conforme a equação (4).

$$\eta_v = \frac{P_a}{P_t} \quad (4)$$

Onde:

η_v - Rendimento volumétrico;

P_a - Peso de ar aspirado em cada curso de admissão.

P_t - Peso de ar nas condições atmosféricas locais, necessário para ocupar o volume da cilindrada de um cilindro.

2.4.7 Rendimento total (η)

O rendimento total ou global de um motor é expresso como o produto dos rendimentos volumétricos (η_v), térmico (η_t) e mecânico (η_m).

$$\eta = \eta_v \cdot \eta_t \cdot \eta_m \quad (5)$$

Podemos obter o rendimento global quando conhecemos o consumo específico e o poder calorífico inferior do combustível (PCI), usando a expressão:

$$\eta = \frac{6,32 \cdot 10^5}{A_e \cdot PCI} \quad (6)$$

Onde:

η - Rendimento total;

A_e - Consumo específico de combustível ($g/CV \cdot h$);

PCI - Poder calorífico inferior do combustível ($kcal/kg$).

2.5 Biodiesel

O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais. Estimulados por um catalisador, eles são obtidos da reação de transesterificação com um álcool de cadeia curta como o metanol ou etanol. Existem diferentes espécies de

oleaginosas no Brasil que podem ser usadas para produzir o biodiesel. Dentre elas estão à mamona, dendê, canola, girassol, amendoim, soja e algodão. Matérias-primas de origem animal, como o sebo bovino e gordura suína, e também podem ser utilizados óleos residuais de frituras na fabricação do biodiesel.

O processo de produção consiste na reação química entre óleo vegetal ou animal com metanol ou etanol, em excesso, na presença de um catalisador ácido ou básico, com temperatura controlada, gerando como produtos ésteres metílicos ou etílicos (biodiesel) e glicerina. A reação de transesterificação pode ser representada pela figura 3:

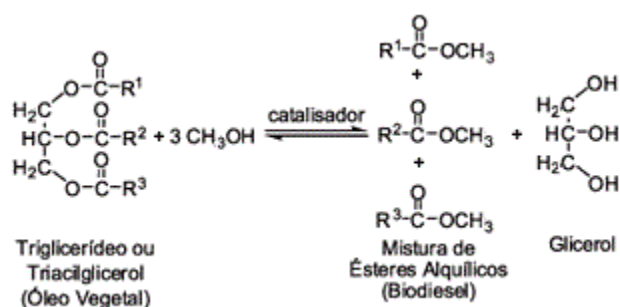


Figura 3: Reação de transesterificação

Após a criação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), em 2004, e a aprovação da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, o governo brasileiro introduziu o biodiesel na matriz energética nacional.

Desde 1º de janeiro de 2010, todo o óleo diesel veicular comercializado ao consumidor final contém 5% de biodiesel. Essa mistura é denominada óleo diesel B e, assim como o combustível de origem fóssil, requer determinados cuidados para que a qualidade do produto se mantenha ao longo de toda a cadeia de abastecimento desde a produção até o consumidor final.

As principais matérias primas utilizadas na produção do biodiesel nacional estão mostradas a seguir na figura 4:

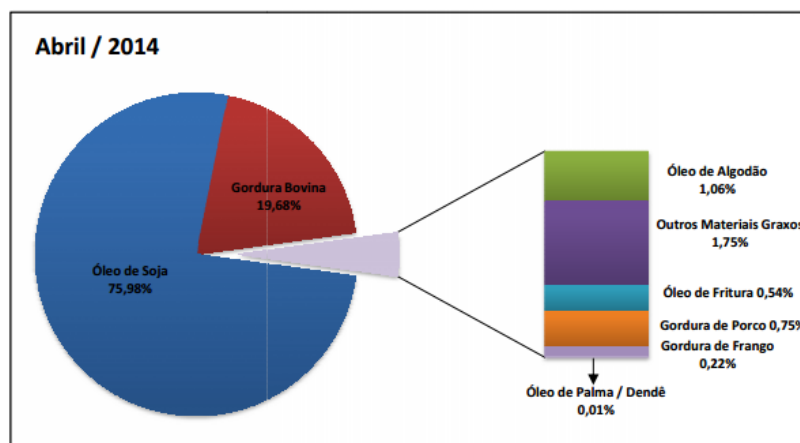


Figura 4: Principais matérias primas utilizadas na produção do biodiesel

2.6 Glicerol

O glicerol, também chamado de glicerina, é uma molécula orgânica da função álcool cuja nomenclatura oficial (IUPAC) é propano-1,2,3-triol. Podemos também classificá-lo como poliálcool (álcool com várias hidroxilas por sua cadeia).

Atualmente, o glicerol está saturando o mercado, e pela lei da oferta e procura tornou-se uma matéria prima de baixo custo, desde quando ela passou a ser um subproduto gerado em excesso na produção de biodiesel (Fernando, 2007). O glicerol é uma matéria-prima para aditivos alimentares, surfactantes e ingredientes cosméticos. Entretanto, esses mercados estão se mostrando incapazes de consumir todo o glicerol gerado pela indústria de biodiesel (Gonçalves, 2012).

Hoje em dia, a síntese de cetais e acetais de derivados do glicerol tem potencial para valorizar o mercado do glicerol, porque estes produtos são potencialmente úteis como bioaditivos para a gasolina (Kijensky, 2004). Além do mais, rotas alternativas para a produção do triacetilglicerol, também tem se mostrado como um importante aditivo para o biocombustível (Garcia, 2008).

A glicerina possui a estrutura molecular mostrada na figura 5:

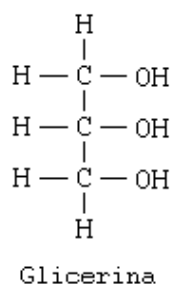


Figura 5: Estrutura molecular da glicerina

E as propriedades apresentadas na tabela 2:

Tabela 2: Propriedades da glicerina

Propriedade	Valor
Aspecto	Líquido incolor a amarelado
pH	~ 5
Ponto de fusão a 760 mm Hg	17 °C
Ponto de ebulição a 760 mmHg	290 °C
Ponto de fulgor	176 °C
Pressão de vapor a 25 °C	< 1 mmHg
Massa específica a 25 °C	1,261 g/cm ³

A glicerina é um subproduto interessante por possuir uma gama de aplicações industriais. Ela possui mais de duas mil aplicações diferentes (Gabriele, 2007), especialmente em produtos farmacêuticos, higiene pessoal,

alimentos e cosméticos. Na figura 6 podemos observar algumas das aplicações da glicerina:

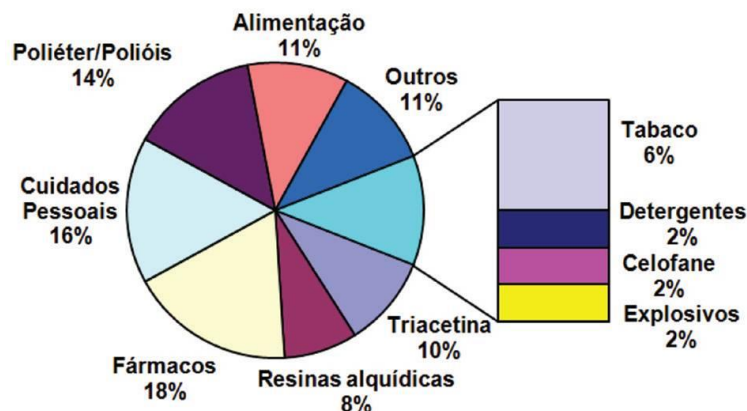


Figura 6: Áreas de aplicação da glicerina

2.7 Tensoativos

Os tensoativos possuem uma parte polar e outra apolar em sua estrutura, por isso, possuem a capacidade de se adsorver nas interfaces de dois líquidos imiscíveis, proporcionando a mistura entre eles.

Vários estudos na área de combustíveis estão sendo realizados para atender as leis ambientais de redução de poluentes. Por isso, misturas diesel/biodiesel, emulsões e microemulsões estão sendo usadas e estudadas como combustíveis em motores de ciclo diesel. Para conseguir emulsões estáveis e as microemulsões é necessário o uso de tensoativos, que são usadas para promover a redução da tensão interfacial óleo/água, mantendo-as estáveis (Dantas Neto et al., 2009). A figura 7 representa a estrutura de um tensoativo.

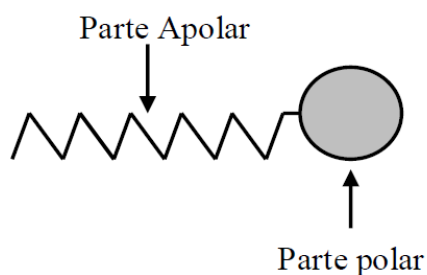


Figura 7: Estrutura do tensoativo.

Os tensoativos ou surfactantes são um dos produtos mais versáteis da indústria química, sendo utilizado em diversos produtos, por exemplo, óleos lubrificantes de motor, fármacos, detergentes, fluido de perfuração e também como agentes de flutuação usados no beneficiamento de minérios (ROSEN, 2004).

Os tensoativos possuem diversas propriedades, dentre as quais se destacam capacidade de formar bolhas e espumas na superfície de um líquido e de se adsorverem nas interfaces. (Líquido-líquido) e (sólido-líquido), reduzindo a tensão interfacial e (líquido-gás) diminuindo a tensão superficial. O termo interface refere-se ao limite entre duas fases imiscíveis, enquanto o termo superfície denota a interface onde uma das fases é um gás, usualmente o ar (DeNunzio, 1990; Rosen, 1978).

2.7.1 Classificação dos tensoativos

Os tensoativos podem ser classificados de acordo com a natureza do grupo hidrofílico, podem possuir cargas elétricas ou não em sua cabeça polar. Estas cargas são responsáveis por diversas interações entre os íons, provocando repulsões entre as cabeças e, com isso, aumentando ou diminuindo a solubilização nos solventes polares. Os tensoativos estão divididos em quatro classes, de acordo com a sua parte polar, em:

Tensoativos iônicos $\left\{ \begin{array}{l} \text{Catiônicos} \\ \text{Aniônicos}; \\ \text{Anfóteros} \end{array} \right.$

Não iônicos.

2.7.1.1 Tensoativo catiônico

Esses agentes tensoativos liberam íons carregados positivamente em solução aquosa. Atualmente, esses tensoativos catiônicos desempenham um papel preponderante como agentes antissépticos em cosméticos, como fungicidas gerais e germicidas e como amaciadores de tecidos (MYERS, 2006).

2.7.1.2 Tensoativo aniônico

Os tensoativos aniônicos, em solução aquosa, apresentam um ou vários grupos ionizáveis que produzem íons carregados negativamente na superfície ativa.

Os tensoativos mais difundidos deste grupo são os sabões, compostos sulfonados e os sulfatados (Florêncio, 1995). Este tipo de tensoativo tem alto poder espumante, alta detergência e alta umectância, quando comparado às demais classes de tensoativos.

Este é o tipo de tensoativos mais utilizado, com um consumo total em torno de 70 a 75% em todo mundo. Os constituintes principais desta classe são os carboxilatos de metais alcalinos ou sabões, sulfatos, sulfonatos, e, em menor número, os fosfatos (Myers, 2006).

2.7.1.3 Tensoativo anfótero

Os tensoativos anfóteros apresentam, em sua estrutura molecular, grupamentos positivo e negativo. Estes agentes tensoativos, quando em solução aquosa, apresentam características catiônicas, aniônicas ou não iônicas, que estão relacionadas, principalmente, ao pH do meio e ao tamanho da cadeia. Em pH inferior a quatro atuam como tensoativo catiônico, quando o pH encontra-se entre quatro e nove o tensoativo atua como não iônico, e se o pH encontra-se entre nove e dez o comportamento do tensoativo é aniônico.

$pH < 4 \rightarrow$ atua como catiônicos;

$4 \leq pH \leq 9 \rightarrow$ não iônicos;

$9 < pH \leq 10 \rightarrow$ atua como aniônicos.

Dentro os tensoativos desta classe os mais importantes são as alquilbetaínas e os alquilsulfobetainas (Florêncio, 1995).

2.7.1.4 Tensoativo não iônico

Esta classe de agente tensoativo é constituída por substâncias cujas moléculas não se dissociam em solução aquosa. São compatíveis com a grande maioria dos demais tensoativos e suas propriedades são pouco afetadas pela mudança de pH. Estes aspectos combinados aumentam consideravelmente suas possibilidades de aplicação, tornando-os bastante interessantes, industrialmente, podendo ser aplicados na formulação de cosméticos, detergentes, produtos farmacêuticos, flotação de minérios e extração (De La Salles, 2000).

2.7.2 Propriedades dos tensoativos

Os tensoativos possuem propriedades que lhes conferem características importantes. A seguir será feita uma breve descrição de algumas destas.

2.7.2.1 Micelização

Micelas são agregados moleculares, de tamanho coloidal, em equilíbrio com as moléculas de monômeros das quais são formadas. Elas não são estáticas, elas existem em equilíbrio dinâmico. Em soluções aquosas os monômeros de tensoativos orientam-se preferencialmente na interface, de modo que as cabeças polares direcionem-se para a solução aquosa e as caudas apolares orientem-se para o óleo, reduzindo a tensão interfacial. À medida que há o aumento da concentração de tensoativo no diluente, ocorre à saturação da interface, atingindo sua concentração máxima, conhecida como concentração micelar crítica (CMC) permitindo que os monômeros iniciem a formação espontânea das micelas, as quais se encontram em permanente

equilíbrio dinâmico com os monômeros. A elevação da temperatura para os tensoativos não iônicos resulta em uma diminuição na CMC e para os iônicos resulta em um aumento (Oliveira, 2013). O processo de formação da CMC é mostrado na figura 8:

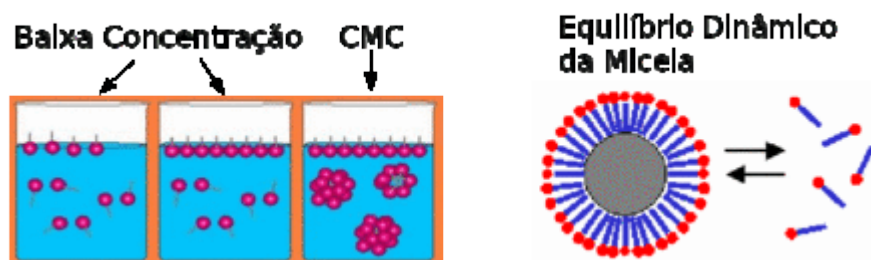


Figura 8: Formação da CMC

A natureza do solvente em que os tensoativos estão imersos caracteriza a existência de dois tipos de micelas: as micelas diretas e as micelas inversas.

As micelas diretas formam-se em solventes polares, onde a cabeça polar do tensoativo fica orientada para o meio polar, enquanto que a cauda apolar está voltada para o interior da micela. Já as micelas inversas apresentam o comportamento inverso, portanto, são formadas em solventes apolares com as cabeças hidrofílicas voltadas para o centro e cercadas por caudas hidrofóbicas. A figura 9 mostra os tipos de micelas:

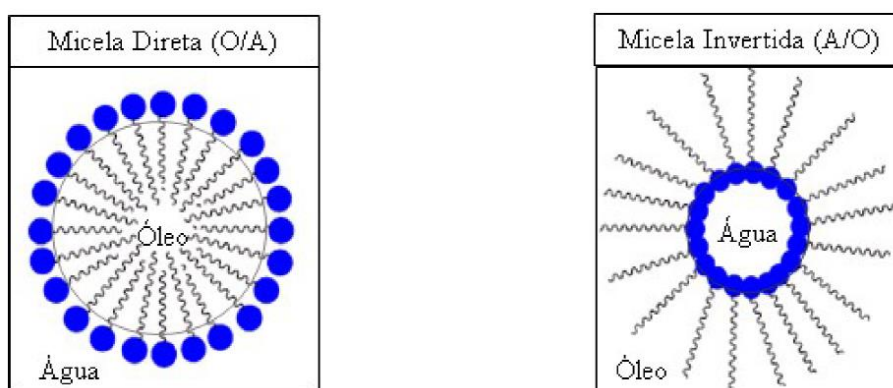


Figura 9: Micelas direta e indireta, respectivamente

2.7.2.2 Adsorção nas interfaces

Moléculas de agentes tensoativos encontram-se localizadas em interfaces com a parte polar voltado para a fase aquosa, e a parte apolar voltada para a fase orgânica. Esta é uma situação energeticamente favorável, e a forte adsorção, em interfaces ou superfícies, na forma de monômeros de moléculas orientadas, é condição para atividade superficial e responsável pela maioria das propriedades dos tensoativos e características estruturais das micelas.

A equação de adsorção de Gibbs é muito utilizada e permite determinar o grau de adsorção que ocorre numa superfície líquida a partir de dados de tensão superficial (Florêncio,1995).

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\gamma}{dc} \quad (7)$$

Onde:

Γ → representa a quantidade de mols dissolvidos por unidade de superfície;

C → concentração de tensoativos;

γ → tensão interfacial ou superficial;

R → constante universal dos gases;

T → temperatura.

2.7.2.3 Ponto de Krafft

O ponto de Krafft é característico dos tensoativos iônicos, de modo que a partir de certa temperatura, chamada temperatura de Krafft, observa-se que a solubilidade do tensoativo aumenta muito rapidamente, para qualquer composição, com o aumento de poucos graus.

A temperatura de Krafft pode ser determinada através de métodos altamente eficazes, tais como: método espectrofotométrico ou turbidimétrico, porém, devido à praticidade e à rapidez de determinação, o método visual vem sendo muito difundido (Santos, 2002).

2.7.2.4 Ponto de turbidez

A formação de micelas nos tensoativos não iônicos acontece abaixo do ponto de turbidez, porque quando se ultrapassa o ponto de turbidez a solução separa-se em duas fases.

Nesta classe de tensoativo não se observa o fenômeno de Krafft, pois se determina o ponto de turbidez através da concentração de tensoativo e da temperatura em que a solução se separa em duas fases e turva, sendo esta concentração e temperatura, o ponto de turbidez. Variando-se as concentrações e observando-se a temperatura de turbidez, pode-se construir a curva de turbidez dos tensoativos não iônicos. Na figura 10 podemos observar a curva de turbidez:

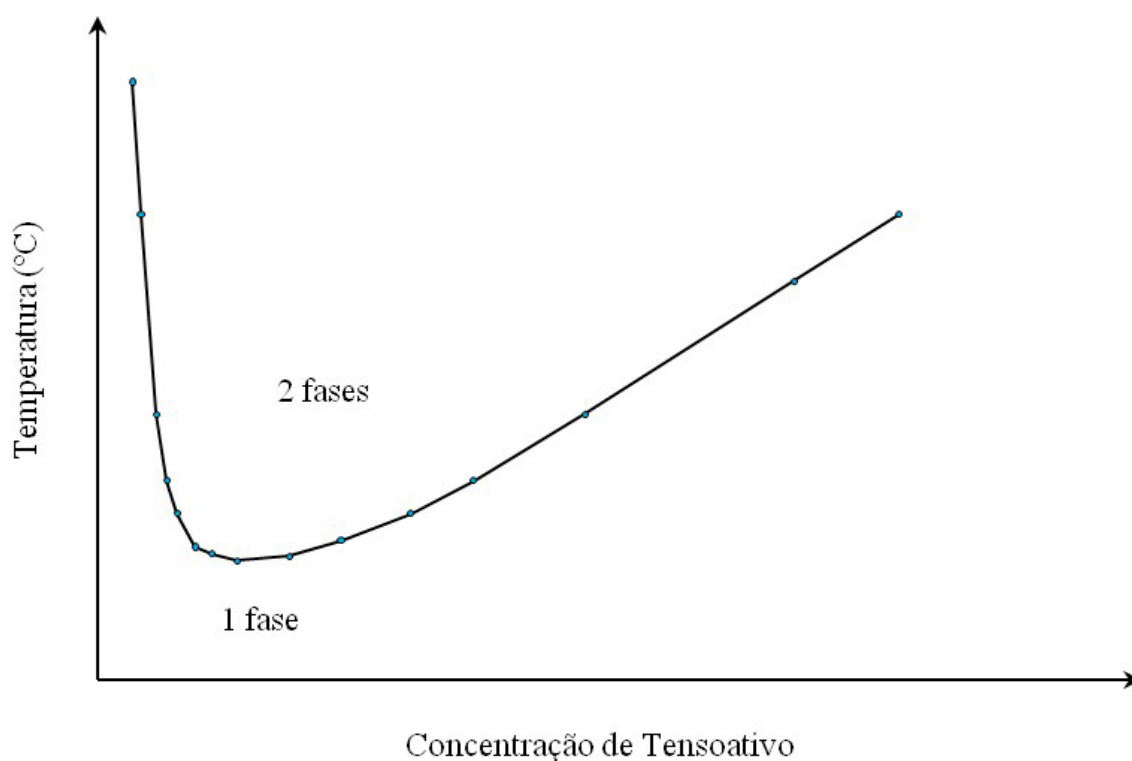


Figura 10: Curva de turbidez dos tensoativos não iônicos

2.7.2.5 Noções de balanço hidrofílico-lipofílico (BHL)

O balanço hidrofílico-lipofílico é uma noção semi-empírica, introduzida por Griffin (1949), para quantificar os efeitos das contribuições das partes apolares e polares existentes na estrutura da molécula tensoativa. A predominância de uma das partes tornará a molécula anfifílica de características específicas, determinando os tipos de aplicação, de acordo com a capacidade de emulsionar uma mistura de líquidos imiscíveis.

Esta noção de BHL indica a percentagem da natureza hidrofílica de um tensoativo. A Tabela 3 mostra a escala de BHL, para tensoativos não iônicos, e sua afinidade com a água. O valor 20 corresponde a um percentual de 100% de caráter hidrofílico para estes tensoativos.

Tabela 3: Escala de BHL

COMPORTAMENTO DOS TENSOATIVOS EM MEIO AQUOSO	BHL	APLICAÇÃO
Sem dispersabilidade	0	
	2	Emulsão A/O
	4	
Pouca dispersabilidade	6	
Dispersão leitosa instável	8	Agente molhante
Dispersão leitosa estável	10	
Translúcido para solução clara	12	Emulsão O/A
	14	(Detergentes)
Solução clara	16	Emulsão O/A
	18	(Solúvel)

2.8 Microemulsão

As microemulsões são misturas interdispersas de dois líquidos imiscíveis, por exemplo, água e óleo, estabilizados por um terceiro componente, o tensoativo, localizado na interface, e às vezes um cotensoativo, quando o tensoativo usado for iônico.

As microemulsões são fisicamente diferentes das emulsões pelo tamanho das micelas, sendo as últimas com agregados maiores que 0,1 μm , o que confere às emulsões a cor branca, aspecto leitoso, ausência de transparência e, ainda, baixa estabilidade, porque as fases se separam em um intervalo de tempo muito pequeno. As microemulsões, por possuírem menor tamanho de partículas, permanecem estáveis, mantendo-se em uma única fase.

2.8.1 Classificação de Winsor

As microemulsões podem coexistir em equilíbrio com outras fases, formando sistemas multifásicos, dependendo da concentração, da salinidade, da temperatura e também da natureza da fase oleosa. Estes sistemas foram estudados por Winsor (1948) que os classificou de acordo com as fases observadas em Winsor (WI), (WII), (WIII) e (WIV).

Os sistemas bifásicos, WI e WII, representam duas fases, onde o sistema WI mostra o equilíbrio da fase microemulsão óleo em água (O/A) com a fase orgânica em excesso, já o sistema WII mostra o equilíbrio da fase microemulsão água em óleo (A/O) com a fase aquosa em excesso. O sistema WIII representa um equilíbrio trifásico, com a fase microemulsão em equilíbrio com a fase aquosa e orgânica ao mesmo tempo. Já o sistema WIV representa um equilíbrio monofásico de microemulsão em escala macroscópica. A figura 11 mostra as fases de Winsor:

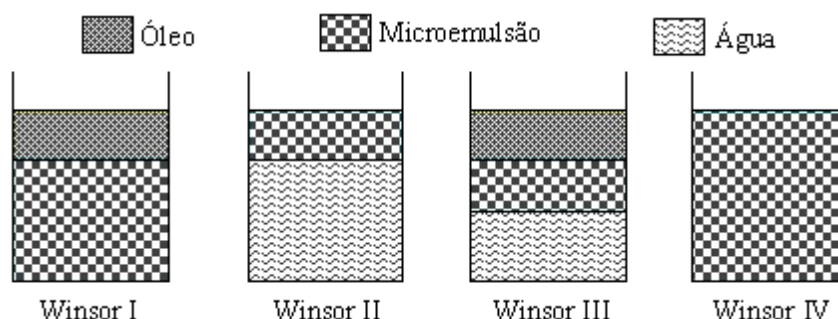


Figura 11: As fases de Winsor

2.10 Planejamento experimental

O planejamento experimental é uma metodologia estatística utilizada para descobrir empiricamente alguma propriedade particular ou para comparar o efeito de diversas variáveis em um sistema. É uma ferramenta poderosa no estudo do efeito conjunto de vários fatores sobre uma variável de resposta desejada. O planejamento busca alcançar dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo pela redução de experimentos.

O planejamento experimental é a ferramenta estatística mais importante, ela é a essência de um bom planejamento, consiste em planejar um experimento de forma que ele forneça exatamente a informação desejada da forma mais rápida possível (BARROS-NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2002).

Um dos delineamentos experimentais mais conhecidos é o experimento fatorial, no qual estão relacionados k fatores, ou variáveis, cada um deles presente em l diferentes níveis. Desta forma, na existência de k fatores, cada um com l níveis há l^k ensaios a serem feitos.

No experimento fatorial completo cada combinação possível dos níveis dos fatores precisa ser verificada a fim de determinar o quanto o sistema em estudo é afetado por cada fator. Assim, o número de experimentos aumenta de forma exponencial com o número de fatores (l^k).

Metodologia

3. METODOLOGIA

3.1 Materiais

No preparo das formulações foram utilizados os seguintes materiais:

- Balança analítica (Precisa, modelo 240 A);
- Becker 250 ml;
- Proveta de 100 ml;
- Pipeta de 25 ml;
- Agitador magnético com aquecimento (Gehaka, modelo AA - 1840);
- Conta gotas;

Os reagentes utilizados foram os seguintes:

- Diesel S10
- Água destilada
- Tensoativo A
- Tensoativo B
- Glicerina

3.2 Métodos

Foram utilizados dois tipos de tensoativos não iônicos na formulação dos combustíveis, o tensoativo A e o tensoativo B, com o objetivo de incorporar a maior quantidade possível de glicerina sem turvar a solução.

3.2.1 Procedimento experimental

1. Foi adicionado uma alíquota de 100 ml do diesel S10 a um Becker;
2. Em seguida, anotado a massa referente a esse volume;
3. Logo após, adiciona-se os tensoativos nas proporções determinadas pelo planejamento experimental, com agitação após adição de cada tensoativo e sempre tomando nota da massa incorporada;

4. Depois da adição dos tensoativos nas determinadas proporções, iniciou-se a adição das soluções de glicerina, variando a sua concentração e observando a formulação que incorporava a maior quantidade de glicerina antes de turvar.

3.2.2 Planejamento experimental

A fim de avaliar a influência das variáveis independentes (massa de tensoativo (M_T), proporção entre tensoativos (P_{rop}) e concentração da solução de glicerina (sol%)) na variável dependente (porcentagem mássica de solução de glicerina dissolvida ($\%M_G$)), foi feito um planejamento fatorial completo com dois níveis e três fatores com duplicata no ponto central, totalizando 20 ensaios, executados de forma aleatória. De acordo com a matriz codificada mostrada na tabela 4:

Tabela 4: Matriz codificada do planejamento experimental

Ensaio	M_t	P_{rop}	Sol%
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	0	0	0
10	0	0	0

Na Tabela 5 são apresentados os valores reais e os níveis assumidos para os fatores estudados. As faixas estudadas foram baseadas em valores obtidos em testes preliminares.

Tabela 5: Valores reais e níveis dos fatores

Código	M_t	P_t	C_g
-1	0,5	1/2	0
0	3	1/1	15
1	5,5	3/2	30

Este trabalho apresenta um intervalo de confiança de 95% e foram consideradas as interações não lineares de terceira ordem.

Seguindo a matriz codificada do planejamento experimental apresentada na tabela 4 e os valores reais e níveis dos fatores presentes na tabela 5, foram feitos os ensaios em duplicata cujos resultados são apresentados na tabela 6:

Tabela 6: Ensaios feitos seguindo o planejamento experimental

	Mt 1	Mt 2	Mg 1	Mg 2	Massa Diesel	Massa TOTAL 1	Massa TOTAL 2	% Mg1	%Mg 2
1	0,5214	0,5128	0,0517	0,0545	83,53	84,10	84,10	0,06146	0,06480
2	5,4991	5,5142	1,3311	1,3462	84,23	91,06	91,09	1,4616	1,477
3	0,5369	0,5109	0,0871	0,0803	83,56	84,18	84,15	0,1034	0,09542
4	5,5212	5,5226	4,5353	4,5650	83,12	93,18	93,21	4,867	4,897
5	0,5226	0,5103	0,1228	0,1278	83,23	83,88	83,87	0,1464	0,1523
6	5,5034	5,5210	3,7675	3,7726	83,15	92,42	92,44	4,076	4,080
7	0,5023	0,5031	0,2082	0,2202	83,62	84,33	84,34	0,2468	0,2610
8	5,5106	5,5164	1,3921	1,4253	83,22	90,12	90,16	1,544	1,580
9	3,0265	3,0523	0,8765	0,8887	83,15	87,06	87,09	1,006	1,020
10	3,0532	3,0312	0,9131	0,9039	83,45	87,42	87,39	1,044	1,034

Foi realizado o cálculo da ANOVA com o auxílio do programa STATISTICA 7.0 para avaliar a significância e predição do modelo.

RESULTADOS E DISCURSÕES

4. Resultados e Discursões

4.1 Obtenção do modelo para a formulação do óleo diesel microemulsionado

Os valores das porcentagens mássicas de solução de glicerina apresentados na tabela 7 foram tratados através do software STATISTICA 7.0 e a partir de regressões não lineares dos dados empíricos foi encontrado um modelo matemático empírico e codificado, conforme detalhado na Equação 8.

Tabela 7: Porcentagem mássica da solução de glicerina incorporada ao diesel

Ensaio	(%M _G)	(%M _G)
1	0,0615	0,0648
2	1,4617	1,4778
3	0,1035	0,0954
4	4,8674	4,8977
5	0,1464	0,1524
6	4,0764	4,0809
7	0,2469	0,2611
8	1,5447	1,5809
9	1,0068	1,0204
10	1,0445	1,0344

$$\%M_G = 1,4613 + 1,4285 * M_T + 0,1297 * P_{rop} - 0,0588 * sol\% + 0,0945 * M_T * P_{rop} - 0,1189 * M_T * sol\% - 0,7325 * P_{rop} * sol\% - 0,7496 * M_T * P_{rop} * sol\% \quad (8)$$

Onde M_T , P_{rop} e $sol\%$ são massa de tensoativo, proporção de tensoativos e concentração de solução de glicerina, respectivamente.

O modelo obtido foi analisado através da avaliação da variância pela ANOVA, que está mostrado na Tabela 8.

Tabela 8: ANOVA

Fonte de variação	Soma quadrática	GL	F _{cal}	F _{tab}
Regressão	50,91	7	92,15	2,91
Erro	0,00222	11		
Total	51,87	19		
R ²	0,98			

A análise estatística apresentou uma regressão significativa com $F_{cal}/F_{tab} = 31,63$ e com coeficiente de determinação igual a 0,98. De acordo com Barros Neto (2002) para F_{cal}/F_{tab} com valor maior que 10 podemos afirmar que o modelo é significativo e preditivo. Então o modelo proposto pode ser utilizado para prever a porcentagem mássica de solução de glicerina que pode ser incorporada ao diesel, dentro da faixa de operação utilizada neste estudo.

Objetivando-se identificar os efeitos das variáveis independentes na resposta, foi feito o diagrama de Pareto conforme a Figura 12. Essa análise resulta no efeito de cada parâmetro da Equação 8 no processo de aditivação da solução de glicerina ao diesel. Podemos observar que as variáveis M_T , P_{rop} e $sol\%$ são todas significativas ao processo analisado de forma individual e em conjunto. Os valores das variáveis no diagrama de Pareto que estão negativos representam uma influencia inversamente proporcional, ou seja, à medida que seu valor diminui estamos caminhando para o ponto ótimo do estudo. Da mesma maneira, os valores positivos no diagrama expressam uma influencia proporcional, isto é, quando seu valor aumenta estamos caminhando para o ponto ótimo. De acordo com o diagrama de Pareto a variável mais significativo é a massa de tensoativo.

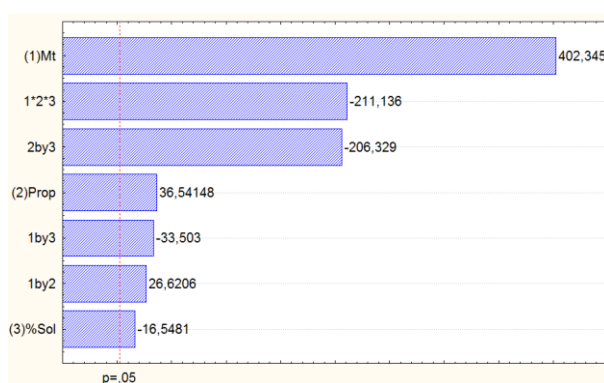


Figura 12: Diagrama de Pareto

4.2 Otimização utilizando a superfície de resposta

A metodologia da superfície de resposta foi utilizada com o objetivo de maximizar a porcentagem mássica de solução de glicerina que pode ser incorporada ao diesel. As superfícies de resposta mostradas nas figuras 13 e 14 foram feitas no software STATISTICA 7.0 e correspondem aos dados experimentais descritos na matriz do planejamento experimental.

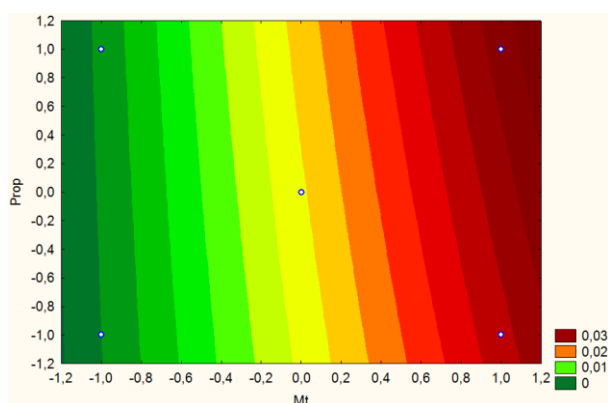


Figura 13: Superfície de resposta com a variável concentração de glicerina fixa

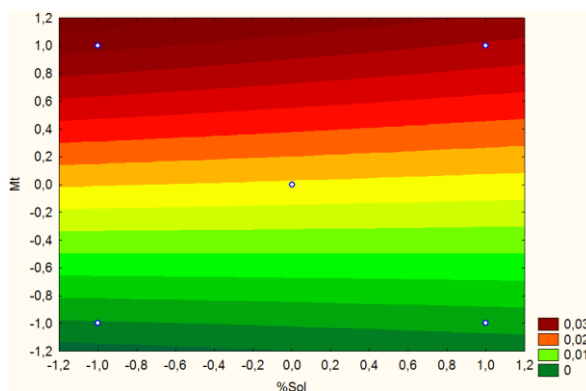


Figura 14: Superfície de resposta com a variável proporção de tensoativos fixa

Pela Figura 13 podemos observar que nos aproximamos da região ótima à medida que aumentamos a massa de tensoativos (Mt) e a proporção entre tensoativos (Prop). Na Figura 14 observa-se que diminuindo a concentração da solução de glicerina (Sol%) e aumentando a massa de tensoativos conseguimos chegar à região ótima.

4.3 Validação do modelo

A figura 15 mostra um gráfico com o plot dos valores experimentais e os valores previstos pelo modelo.

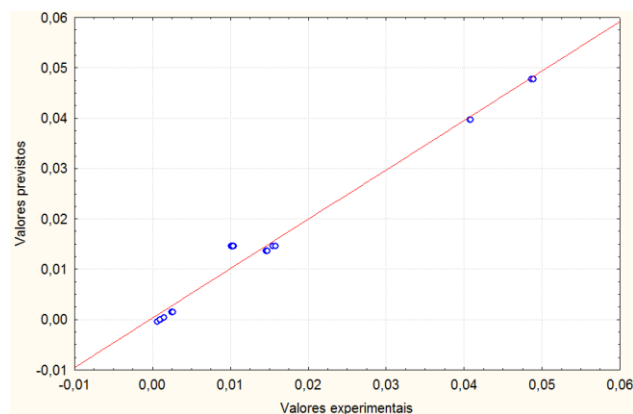


Figura 15: Valores previstos versus valores experimentais

Verificamos que os valores dos pontos experimentais estão bem próximos dos valores previstos pelo modelo, apresentando pouca variação.

CONCLUSÕES

5. Conclusões

O planejamento experimental mostrou-se satisfatório na estimativa da porcentagem mássica de solução de glicerina que pode ser incorporada ao diesel antes do ponto de turbidez, o modelo matemático proposto pode ser considerado significativo e preditivo dentro da faixa estudada neste trabalho. Os resultados obtidos experimentalmente e através do modelo mostram que todos os parâmetros estudados tem influência significativa no processo de dissolução e observando a superfície de resposta verificou-se que a região ótima ocorre para condições de massa de tensoativos de 5,5 g sob uma proporção 3/2 e titulada com uma solução de glicerina de 15%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. Referências Bibliográficas

ABU-ZAID, M. Performance of single cylinder, direct injection diesel engine using water fuel emulsions. *Energy Conversion and Management*, 45, (2004), 697–705.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). Portaria ANP N^o 310, de 27 de dezembro de 2001. Normas para comercialização de óleo diesel e misturas de óleo diesel/biodiesel-B2 automotivo.

AHLSTRÖM, A. F.; ODENBRAND, C. U. I.; *Carbon*. 1989, 27, 475.

ARMAS, O.; BALLESTEROS, R.; MARTOS, F.J.; AGUDELO, J.R.. Characterization of light duty diesel engine pollutant emissions using water-emulsified fuel. *Fuel*, 84, (2005), 1011-1018.

ATTWOOD, D., FLORENSE, A. T.. *Surfactants systems, their chemistry, pharmacy and biology*. London: Chapman and Hall Ltd., 1985.

BARROS NETO, E. L.. *Extração de cobre utilizando microemulsões: Otimização e modelagem*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: DEQ/PPGEQ, 1996.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S. & BRUNS, R. E. *Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*. 2. ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 2002;

CARDOSO, J. J. F.; COSTA, A. A.; ALMEIDA, M. A. P.; MELO, C. K.;CARDIAS, H.T. C. Caracterização do biodiesel metílico produzido a partir de óleo babaçu e suas misturas com o diesel de petróleo. In: I CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, Brasília, 2006, p. 302 – 307.

CASTRO DANTAS, T. N.; DANTAS NETO, A. A.; SILVA, A. C. New microemulsion systems using diesel and vegetable oils. *Fuel*, 80, (2001), 75-81.

DANTAS NETO, A. A.; CASTRO DANTAS, T. N.; MOURA, M. C. P. A.; BARROS NETO, E. L; GURGEL, A. *Microemulsions as potential interfacial chemical system applied in the petroleum industry.* In: **FANUN, M.** *Microemulsions Properties and Applications. Surfactant Science Series, vol. 144, 2009, pp. 411-449.*

DE LA SALLES W. F. *Sistemas microemulsionados para a solubilizacao de depósitos parafínicos.* *Dissertação (Mestrado), UFRN. Natal: DEQ/PPGEQ, 2000.*

DELNUNZLO, M. J. *Tensoativos e suas aplicações básicas.* *Aerossol & Cosméticos, 14-22, 1990.*

DUANE, H. S.. *Comparacion of emulsion with phase diagrams of the systems in which they form.* In: **SCHICK, M. J.; FOWKES, F. M.,** *Microemulsion Systems, Marcel Dekker Inc., 84-85, New York, 1987.*

FERNANDES, M. R. *Desenvolvimento de um novo combustível microemulsionado base-diesel.* *Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFRN. Natal: DEQ/PPGEQ, 2005.*

FERNANDO S., ADHIKARI S., KOTA K., BANDI R., *Glycerol based automotive fuels from future biorefineries, Fuel 86 (2007) 2806–2809.*

FLORÊNCIO, T. C. R. M.. *Desenvolvimento de processos para obtenção de novos tensoativos a partir de óleos vegetais.* *Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFRN. Natal: DEQ/PPGEQ, 1995.*

GABRIELE C., RUTGER A S., *Catalysis for renewables: from feedstock to energy production.* *Weinheim: Wiley-VCH; 2007.*

GARCIA E., LACA M., PEREZ E., GARRIDO A., PEINADO J., *New class of acetal derived from glycerin as a biodiesel fuel component, Energy & Fuels 22 (2008) 4274–4280.*

GILBERT, T.W.; BROWN, K. F.. A process for reducing pollutants from the exhaust of a diesel engine using a water diesel fuel in combination with exhaust after-treatments. Patente, n. 022B, 29400. Patent Cooperation Treaty. Inglaterra 2001.

GONÇALVES C., OLIVEIRA L., LEMOS A., SILVA M., *Bioadditive synthesis from H3PW12O40-catalyzed glycerol esterification with HOAc under mild reaction conditions.* Fuel 102 (2012) 46-52

GREG WU, Y. P.; LIN, Y. F.; CHANG, C. T.. Combustion characteristics of fatty acid methyl esters derived from recycled cooking oil. *Fuel*, 86, (2007), 2810-2816.

GRIFFIN, W. C. *Journal Society Cosmdic Chemistry.* v. 1, p. 311, 1949. Em MOURA, M.C.P.A. *Utilização de microemulsões como agentes modificadores de superfícies para remoção de íons metálicos.* Tese (Doutorado em Engenharia Química), UFRN. Natal: DEQ/PPGEQ, 2001.

HEYWOOD, J. B.. *“Internal Combustion Engine Fundamentals”*, McGraw-hill Science, Book Company, New York, pp. 930, 1988.

KIJENSKY J., LIPKOWSKY A., WALISIEWICV-NIEDBALSKA W., GWARDIAC H., ROZYCZKI K., PAWLAK I., *European Patent EP 1580255* (2004).

LIN, C. Y.; CHEN, L. W.. Engine performance and emission characteristics of three-phase diesel emulsions prepared by an ultrasonic emulsification method. *Fuel*, 85, (2005), 593-600.

LUCIANO, B. *Avaliação do comportamento de um motor diesel refrigerado a ar, funcionando como motor dual diesel-GNC.* Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: DEM/ PPGEM, 1991.

MARTINELLI Jr., L. C. *Motores de combustão interna. Parte I.* Caderno Unijuí, Série Tecnologia Mecânica. nº 10, 1998.

Myers, D. *Surfactant Science and Technology*. Third Edition, Hoboken, New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC., 2006.

NADEEM, M.; RANGKUTI, C.; ANUAR, K.; HAQ, M.R.U.; TAN, I.B.; SHAH, S.S. Diesel engine performance and emission evaluation using emulsified fuels stabilized by conventional and gemini surfactants. *Fuel*, 85, (2006),2111-2119.

NAWRATH, A; SOTTMANN, T; STREY, R. Microemulsion useful as a fuel has both a continuous aqueous phase and hydrophobic fuel phase. Patente, n. 2004EP51665, UNIV KOELEN (UIKO – N), 2004.

OLIVEIRA, K. C. *Desenvolvimento de novos adsorventes para aplicação na separação dos isômeros do xileno*. 2013. 74 f. Monografia (Graduação em engenharia química) - Centro de tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

PERALTA, G. E. *Avaliação do desempenho de um motor diesel funcionando com uma mistura de diesel-álcool-óleo de rícino*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: DEM/ PPGEM, 2000.

PROMMES, K.; APANEE, L.; SAMAI, J.. Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. *Fuel*, 86, (2007), 1053-1061.

RAMOS, L. P. Aspectos técnicos sobre o processo de produção de biodiesel. In: SEMINÁRIO DE BIODIESEL DO ESTADO DO PARANÁ, 2003, Londrina. *Anais...* Londrina, PR, 2003, pp. 33.

ROSEN, M. J. *Surfactants and interfacial phenomena*. John Wiley e sons Inc., USA, 1978.

ROSEN, Milton J. *Surfactants and interfacial phenomena*. Third Edition, Hoboken, New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC., 2004.

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

SELIM, M. Y. E.; ELFEKY, S. M. S. Effects of diesel/water emulsion on heat flow and thermal loading in a precombustion chamber diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 21 (2001), 1565-1582.

SEXTON, M. D.; SMITH, A. K.; BOCK, J.; ROBBINS, M. L.; PACE, S. J.; GRIMES, P.G. Microemulsion diesel fuel compositions and method of use. Patente, n. 475620 USA. Americana, Exxon Research and Engineering co. Estados Unidos, 1992.

WINSOR, P. A. Hidrotopy, solubilization and related emulsification processes I to VIII. *Transations Faraday Society*. V. 44, pp. 376, 1948.

6. Anexo I

Cronograma de execução da pesquisa

	2014		2015	
	1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre
Pesquisa bibliográfica	x	x	x	x
Seleção dos tensoativos e dos cotensoativos	x			
Obtenção dos sistemas microemulsionados	x	x		
Realização dos ensaios referentes à caracterização dos combustíveis		x		
Realização dos ensaios referentes ao desempenho do motor e à emissão dos combustíveis		x	x	
Análise dos dados de desempenho e emissões do motor			x	
Redação da monografia			x	x
Estágio				x

7. Anexo II

Histórico Escolar



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: 28/05/2015 às 23:07

Dados Pessoais

Nome: **PEDRO HENRIQUE PEREIRA DA COSTA** Matrícula: **2011079924**
 Data de Nascimento: **19/03/1988** Local de Nascimento: **JOÃO CÂMARA/RN**
 Nome do Pai: **PEDRO PEREIRA DA COSTA**
 Nome da Mãe: **SILVANA MARIA DO NASCIMENTO**
 Endereço: **RUA ARIAMIRO ALMEIDA, 134** Bairro: **CENTRO**
 Município: **JOÃO CÂMARA** UF: **RN**

Dados do Curso

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

Status: **FORMANDO**

Ênfase: **-**

Currículo: **04 - 2009.1**

Autorização do Curso: **Portaria nº 286/2012 - MEC, 21/12/2012D.O.U.: 27/12/2012**

Ano/Período Letivo Inicial: **2011.2**

Perfil Inicial: **0**

Forma de Ingresso: **REOPCAO**

Período Letivo Atual: **8**

Prazo para Conclusão (Padrão / Máximo): **2016.1 / 2019.1**

Suspensões: **Nenhum**

Prorrogações: **0 períodos letivos**

Ano/Período de Integralização: **-**

Ano/Período Letivo de Saída: **-**

Tipo Saída: **-**

Data de Saída: **-**

Data da Colação de Grau: **-**

Trabalho de Conclusão de Curso: **-**

Índices Acadêmicos

MC: **7.3687** MCN: **436.1869**

Componentes Curriculares Cursados/Cursando

Ano/Período Letivo	Componente Curricular	Hora Aula	CH	Turma	Freq %	Nota Min	Média	Situação
--	DEQ0501 INTRODUÇÃO À ENGENHARIA QUÍMICA	36	30	--	--	--	--	CUMP
--	DEQ0503 TERMODINÂMICA QUÍMICA	108	90	--	--	--	--	CUMP
--	e DEQ0530 QUALIDADE E SEGURANÇA NA INDÚSTRIA QUÍMICA	36	30	--	--	--	--	CUMP
--	EST0323 ESTATÍSTICA APLICADA A ENGENHARIA I	72	60	--	--	--	--	CUMP
--	FIS0313 ONDAS E FÍSICA MODERNA	72	60	--	--	--	--	CUMP
--	e FIS0601 INTRODUÇÃO A MECANICA	108	90	--	--	--	--	CUMP
--	e FIS0603 INTRODUÇÃO AO ELETROMAGNETISMO	72	60	--	--	--	--	CUMP
--	* LET0029 LINGUA INGLESA IX	72	60	--	--	--	--	CUMP
--	MAT0314 MATEMÁTICA PARA ENGENHARIA III	108	90	--	--	--	--	CUMP
--	e MAT0319 ALGEBRA LINEAR BASICA I	72	60	--	--	--	--	CUMP
--	e MAT0345 CALCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL I	108	90	--	--	--	--	CUMP
--	e MAT0346 CALCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL II	108	90	--	--	--	--	CUMP
--	QUI0070 QUÍMICA GERAL E INORGANICA	72	60	--	--	--	--	CUMP
--	QUI0111 QUÍMICA ANALÍTICA APLICADA	108	90	--	--	--	--	CUMP
--	QUI0321 QUÍMICA INORGANICA	72	60	--	--	--	--	CUMP
--	e QUI0602 QUÍMICA EXPERIMENTAL	54	45	--	--	--	--	CUMP
--	e QUI0613 QUÍMICA INORGANICA EXPERIMENTAL I	36	30	--	--	--	--	CUMP
--	e QUI0620 QUÍMICA ORGANICA I	72	60	--	--	--	--	CUMP
2011.2	ENADE	Dispensa de todos os ingressantes inscritos (Portaria 8-2011/MEC, art. 5º, §6º). DATA DA PROVA: 06/11/2011						
2011.2	ARQ0530 INTRODUÇÃO AO DESENHO COMPUTACIONAL	36	30	02	100.0	4,8	7,5	APR
2011.2	DEQ0509 TERMODINAMICA DO EQUILIBRIO	72	60	01	--	--	--	TRANC
2011.2	DEQ0510 TERMODINÂMICA EXPERIMENTAL I	36	30	01	100.0	7,6	8,4	APR
2011.2	DEQ0521 CINÉTICA E REATORES QUÍMICOS	108	90	01	--	--	--	TRANC
2011.2	e DIM0320 ALGORITMO E PROGRAMACAO DE COMPUTADORES	72	60	07	100.0	6,7	8,8	APR
2011.2	FIS0315 FÍSICA EXPERIMENTAL I	54	45	01	94.0	6,0	7,2	APR
2011.2	QUI0341 ORGANICA EXPERIMENTAL I	36	30	01	88.0	3,1	4,1	REP



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: 28/05/2015 às 23:07

Nome: PEDRO HENRIQUE PEREIRA DA COSTA

Matrícula:

2011079924

Componentes Curriculares Cursados/Cursando

Ano/Período Letivo	Componente Curricular	Hora Aula	CH	Turma	Freq %	Nota Min	Média	Situação
2012.1	DEQ0307 TERMODINAMICA FUNDAMENTAL	72	60	01	--	--	--	TRANC
2012.1	DEQ0504 TRANSPORTE DE QUANTIDADE DE MOVIMENTO	72	60	01	100.0	5,4	7,8	APR
2012.1	DEQ0509 TERMODINAMICA DO EQUILIBRIO	72	60	01	86.0	4,5	5,6	APR
2012.1	DEQ0512 PRINCIPIOS DOS PROCESSOS QUIMICOS	72	60	01	100.0	6,5	8,6	APR
2012.1	DEQ0519 TERMODINÂMICA EXPERIMENTAL II	36	30	02	100.0	7,0	8,2	APR
2012.1	DEQ0531 ENGENHARIA AMBIENTAL	72	60	01	100.0	5,5	7,0	APR
2012.1	FIS0316 FISICA EXPERIMENTAL II	54	45	10	100.0	7,5	8,5	APR
2012.2	e DEQ0305 FENOMENOS DE TRANSPORTE EXPERIMENTAL	72	60	02	94.0	7,0	7,0	APR
2012.2	* DEQ0370 REFINO DE PETROLEO E PETROQUIMICA	72	60	01	100.0	7,2	8,6	APR
2012.2	DEQ0506 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	72	60	01	100.0	4,2	6,6	APR
2012.2	DEQ0514 PROCESSOS DAS INDUSTRIAS QUIMICAS	36	30	01	100.0	7,5	7,7	APR
2012.2	DEQ0521 CINÉTICA E REATORES QUÍMICOS	108	90	01	96.0	7,5	8,4	APR
2012.2	QUI0341 ORGANICA EXPERIMENTAL I	36	30	02	100.0	6,1	8,2	APR
2012.2	QUI0342 ORGANICA II	72	60	01	97.0	6,4	7,3	APR
2012.2	QUI0343 ORGANICA EXPERIMENTAL II	36	30	02	100.0	7,0	7,7	APR
2013.1	* DEQ0352 TRATAMENTO DE AGUAS INDUSTRIAIS E DE ABASTECIMENTO	72	60	01	100.0	6,0	7,1	APR
2013.1	DEQ0507 TRANSFERÊNCIA DE MASSA	72	60	01	100.0	1,0	7,6	APR
2013.1	DEQ0513 MÉTODOS COMPUTACIONAIS APLICADOS À ENGENHARIA QUÍMICA	72	60	01	88.0	5,0	6,8	APR
2013.1	DEQ0515 OPERAÇÕES UNITÁRIAS COM SISTEMAS SÓLIDO-FLUIDO	72	60	01	100.0	4,8	7,7	APR
2013.1	DEQ0516 LABORATÓRIO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS I	36	30	01	100.0	9,2	9,2	APR
2013.1	DEQ0523 INTRODUÇÃO AOS BIOCATALISADORES	72	60	01	100.0	3,0	5,7	APR
2013.1	ELE0390 ELETROTECNICA BASICA	72	60	05	100.0	4,5	6,6	APR
2013.2	* DEQ0511 TERMODINAMICA DE PROCESSOS	72	60	01	100.0	7,5	8,7	APR
2013.2	DEQ0517 OPERAÇÕES UNITÁRIAS COM TROCA DE CALOR E MASSA	108	90	01	75.0	3,5	6,4	APR
2013.2	DEQ0518 LABORATÓRIO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS II	36	30	02	88.0	6,4	8,0	APR
2013.2	DEQ0522 CÁLCULO DE REATORES	72	60	01	100.0	4,4	6,6	APR
2013.2	DEQ0524 ENGENHARIA BIOQUIMICA	72	60	01	100.0	0,5	6,4	APR
2013.2	DEQ0525 CIENCIA E ENGENHARIA DOS MATERIAIS	72	60	01	88.0	3,8	5,3	APR
2013.2	DEQ0526 MODELAGEM E SIMULACAO DE PROCESSOS QUIMICOS	72	60	01	91.0	2,0	5,0	APR
2013.2	& PTR0106 INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE PETRÓLEO	72	60	01	97.0	5,2	7,0	APR
2014.1	* DEQ0375 SEMINARIOS DE PETROLEO E GAS NATURAL	72	60	01	100.0	8,8	9,3	APR
2014.1	* DEQ0386 MÉTODOS MATEMÁTICOS APLICADOS A ENGENHARIA QUÍMICA	72	60	01	100.0	10,0	10,0	APR
2014.1	DEQ0527 CONTROLE DE PROCESSOS	72	60	01	90.8	3,5	6,7	APRN
2014.1	DEQ0528 ENGENHARIA DE PROCESSOS	72	60	01	86.4	3,0	5,7	APRN
2014.1	DEQ0529 INSTRUMENTAÇÃO NA INDÚSTRIA QUÍMICA	36	30	01	100.0	5,6	6,2	APRN
2014.1	DEQ0534 INTRODUÇÃO AO PROJETO DE PROCESSOS	36	30	01	83.3	5,0	6,3	APRN
2014.1	@ DEQ0535 PROJETO DE PROCESSOS QUÍMICOS	36	30	--	100.0	--	6,3	APR
2014.1	e ECO0001 INTRODUCAO A ECONOMIA I	72	60	03	100.0	7,5	9,2	APR
2014.2	* DEQ0552 INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE GÁS NATURAL	36	30	01	100.0	10,0	10,0	APR
2014.2	# QUI0657 AGENTES TENSOATIVOS APLICADOS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO	72	60	01	81.8	6,0	6,8	APRN
2014.1	ENADE Realizou o exame. DATA DA PROVA: 23/11/2014	--	0	--	--	--	--	--
2015.1	@ DEQ0024 ATIVIDADE COMPLEMENTAR	294	245	--	--	--	--	MATR
2015.1	@ DEQ0536 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	0	0	--	--	--	--	MATR
2015.1	@ DEQ0537 ESTAGIO SUPERVISIONADO	0	360	--	--	--	--	MATR



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: 28/05/2015 às 23:07

Nome: PEDRO HENRIQUE PEREIRA DA COSTA Matrícula: 2011079924

Legenda		
SIGLA	SIGNIFICADO	SITUAÇÃO
APR	Aprovado por média	Aluno aprovado com média maior ou igual a 7,0.
APRN	Aprovado por nota mínima	Aluno com média entre 5,0 e 7,0 e nota mínima superior a 3,0 após a substituição.
CANC	Cancelado	Matrícula em turma cancelada.
DISP	Dispensado	Aproveitou o componente e foi dispensado.
MATR	Matriculado	Matriculado na turma.
REC	Em recuperação	Aluno que fará reposição.
REP	Reprovado por média	Aluno com média inferior a 5,0.
REPF	Reprovado por falta	Reprovado por não atender os critérios de assiduidade.
REPMF	Reprovado por média e falta	Aluno com média inferior a 5,0 além de não atender aos critérios de assiduidade.
REPNI	Reprovado por nota mínima	Aluno com média entre 5,0 e 7,0 e nota mínima inferior a 3,0 após a substituição.
REPNF	Reprovado por nota e falta	Aluno com média entre 5,0 e 7,0 e nota mínima inferior a 3,0 após a substituição além de não atender aos critérios de assiduidade.
TRANC	Trancado	Matrícula em turma trancada.
TRANS	Transferido	Fez o componente em outra instituição e aproveitou na Instituição.

Carga Horária Integralizada/Pendente

	Obrigatórias	Opativos	Complementares	Total
Exigido	3560 h	360 h	0 h	3920 h
Integralizado	2955 h	360 h	0 h	3315 h
Pendente	605 h	0 h	0 h	605 h

Componentes Curriculares Obrigatórios Pendentes:3

Código	Componente Curricular	CH
DEQ0536	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	0 h
DEQ0537	ESTAGIO SUPERVISIONADO	360 h
DEQ0024	ATIVIDADE COMPLEMENTAR	245 h

Equivalências:

Cumprir DEQ0502 - INTRODUÇÃO A COMPUTAÇÃO PARA ENGENHARIA QUÍMICA/ALIMENTOS (60h) através de DIM0320 - ALGORITMO E PROGRAMAÇÃO DE COMPUTADORES (60h)
 Cumprir QUI0312 - QUÍMICA EXPERIMENTAL (45h) através de QUI0602 - QUÍMICA EXPERIMENTAL (45h)
 Cumprir MAT0311 - MATEMÁTICA PARA ENGENHARIA I (90h) através de MAT0345 - CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL I (90h)
 Cumprir MAT0312 - MATEMÁTICA PARA ENGENHARIA II (90h) através de MAT0346 - CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL II (90h)
 Cumprir FIS0311 - MECÂNICA CLÁSSICA (90h) através de FIS0601 - INTRODUÇÃO À MECÂNICA (90h)
 Cumprir QUI0322 - QUÍMICA INORGÂNICA EXPERIMENTAL (30h) através de QUI0613 - QUÍMICA INORGÂNICA EXPERIMENTAL I (30h)
 Cumprir QUI0340 - ORGÂNICA I (60h) através de QUI0620 - QUÍMICA ORGÂNICA I (60h)
 Cumprir FIS0312 - ELETRICIDADE E MAGNETISMO (60h) através de FIS0603 - INTRODUÇÃO AO ELETROMAGNETISMO (60h)
 Cumprir MAT0313 - ÁLGEBRA LINEAR APLICADA (90h) através de MAT0319 - ÁLGEBRA LINEAR BÁSICA I (60h)
 Cumprir DEQ0505 - FENÔMENOS DE TRANSPORTE EXPERIMENTAL I (30h) através de DEQ0305 - FENÔMENOS DE TRANSPORTE EXPERIMENTAL (60h)
 Cumprir DEQ0508 - FENÔMENOS DE TRANSPORTE EXPERIMENTAL II (30h) através de DEQ0305 - FENÔMENOS DE TRANSPORTE EXPERIMENTAL (60h)
 Cumprir DEQ0481 - QUALIDADE E SEGURANÇA NA INDÚSTRIA QUÍMICA (60h) através de DEQ0530 - QUALIDADE E SEGURANÇA NA INDÚSTRIA QUÍMICA (30h)
 Cumprir DEQ0532 - GESTÃO TECNOLÓGICA E ECONÔMICA (60h) através de ECO0001 - INTRODUÇÃO À ECONOMIA I (60h)
 Cumprir DEQ0376 - INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE PETRÓLEO (60h) através de PTR0106 - INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE PETRÓLEO (60h)

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.