

Universidade Federal do Espírito Santo  
Centro Tecnológico  
Departamento de Engenharia Mecânica

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE  
DIESEL E BIODIESEL**



Rodolpho Coutinho Sala  
Ronaldo Gomes de Menezes Júnior

Vitória – ES  
Julho / 2006

**Rodolpho Coutinho Sala**  
**Ronaldo Gomes de Menezes Júnior**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE  
DIESEL E BIODIESEL**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO DEPARTAMENTO  
DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA.**

Orientador: Prof. Dr. Sci. Juan Sergio Romero Shens

Vitória – ES  
Julho / 2006

**“ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE  
DIESEL E BIODIESEL”**

Rodolpho Coutinho Sala  
Ronaldo Gomes de Menezes Júnior

Aprovada em 20 de Julho de 2006

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr.Sc. Juan Sergio Romero Saenz

---

Prof. M.Sc. Elias Antonio Dalvi

---

Prof. M.Sc Rogério Silveira de Queiroz

Aos nossos pais que nos educaram.

## **Agradecimentos**

- Agradecemos a Deus;
- Ao Prof. Orientador Juan Romero pelo incentivo, amizade, compreensão, sugestões e por tornar possível a realização deste trabalho;
- Aos nossos pais Francisco e Jeane, Ronaldo e Zilda;
- Aos professores Rogério e Elias por serem mestres na arte de ensinar;
- Ronaldo: agradeço à minha noiva Polliana pela compreensão e ajuda;
- Rodolpho: agradeço a toda minha família pelo apoio aos amigos que sempre ajudaram e aos professores do Centro Tecnológico.

## Resumo

A motivação para estudo de fontes alternativas de energia se encontra na possibilidade de esgotamento dos combustíveis fósseis como petróleo, carvão e gás natural, que são os mais utilizados no mundo. O biodiesel é biodegradável e renovável, e pode ser definido como o produto da associação de gordura vegetal ou animal com um álcool na presença de uma base catalítica; é um éster gerado por triglicerídeo que, em seu processo de formação, tem também como produto a glicerina, que é utilizada no mercado de sabões e cosméticos. Em certas situações, a viabilidade da utilização de uma matéria-prima para a produção de biodiesel é definida pela sua utilização do mercado de cosméticos, que pode ter a preferência por ser mais rentável. Neste estudo foi apresentada a viabilidade do biodiesel frente ao óleo diesel comum em motores de ciclo diesel; foram analisadas algumas características comparativas como qualidade do ar e índice de emissões, saúde respiratória, alguns tipos de processos de produção, propriedades e matéria-prima do biodiesel no Brasil. Funcionalmente, o comportamento do biodiesel é semelhante ao óleo diesel mineral colaborando para que esse éster seja uma fonte de energia alternativa.

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Comparação das rotas metílica e etílica	25
Tabela 2: Propriedades do diesel e biodiesel	31
Tabela 3: Disponibilidade de óleo em cada espécie de oleaginosa	36
Tabela 4: Comparação entre os valores médios de consumo energético e PCI de diferentes insumos e produtos	38
Tabela 5: Balanço energético na produção de ésteres metílicos de mamona por hectare para o cenário padrão	39
Tabela 6: Balanço energético na produção de ésteres etílicos de mamona por hectare para o cenário padrão	39
Tabela 7: Produção de oleaginosas nos estados e regiões brasileiras	41
Tabela 8: Comparação entre concentrações diferentes de biodiesel e diesel comum	45
Tabela 9: Tabela comparativa de diferentes misturas ao petrodiesel	46

## Lista de Ilustrações

Figura 1: Ciclo padrão diesel	20
Equação I: rendimento teorico motor ciclo diesel	20
Figura 2: Forma esquemática de representação do processo de produção do Biodiesel	23
Equação II: Reação de transesterificação de triglicerídeos	24
Equação III: Esquema da reação de transesterificação em etapas	24
Figura 3: Reação de transesterificação do biodiesel	26
Figura 4: Biodiesel e glicerina separados por diferença de densidade	26
Figura 5: Produtos usados no processo de produção do biodiesel caseiro	27
Figura 6: Após 15 minutos de decantação	28
Figura 7: Após 50 minutos de decantação	28
Gráfico 1: Ensaio de torque em bancada dinamométrica	33
Gráfico 2: Ensaio de potência medida em bancada dinamométrica	34
Gráfico 3: Ensaio de consumo em bancada dinamométrica	34
Gráfico 4: Perfil do consumo de combustível de acordo com a mistura	35
Figura 8: Potencialidade brasileira para produção e consumo de combustíveis vegetais	41



Gráfico 11: Variação das emissões de acordo com o percentual de biodiesel

45

Figura 9: Tubo de centrífuga com biodiesel e fração de sedimentos

47

## Sumário

- i) Resumo;
- ii) Lista de Tabelas;
- iii) Lista de Ilustrações;

<b>1) INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2) OBJETIVOS GERAIS</b>	<b>12</b>
<b>3) BREVE HISTÓRICO</b>	<b>12</b>
<b>4) QUALIDADE DO AR</b>	<b>13</b>
<b>5) AS QUESTÕES AMBIENTAIS</b>	<b>15</b>
5.1) O PROTOCOLO DE KYOTO	15
5.2) A CRONOLOGIA DO PROTOCOLO DE KYOTO	16
<b>6) MOTORES CICLO DIESEL</b>	<b>17</b>
6.1) BREVE HISTÓRICO	17
6.2) PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	18
6.3) REGIME DE FUNCIONAMENTO	19
6.4) NOVAS TECNOLOGIAS	21
<b>7) PROCESSOS DE PRODUÇÃO</b>	<b>22</b>
7.1) PRODUZINDO BIODIESEL	26
<b>8) PROPRIEDADES</b>	<b>28</b>
8.1) PROPRIEDADES FÍSICAS	28
8.2) PROPRIEDADES QUÍMICAS	30
8.3) RENDIMENTOS	32
8.4) BALANÇO ENERGÉTICO	37
<b>9) OXIDAÇÃO DO BIODIESEL</b>	<b>39</b>
<b>10) BIODIESEL NO BRASIL</b>	<b>40</b>
<b>11) BIODIESEL NO ESPÍRITO SANTO</b>	<b>43</b>
<b>12) EMISSÕES</b>	<b>44</b>
<b>13) CONCLUSÃO</b>	<b>48</b>
<b>14) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>49</b>
<b>15) ANEXOS</b>	<b>51</b>

## 1) INTRODUÇÃO

A busca de aproveitamento energético como alternativa de fuga de fontes já existentes e possivelmente em esgotamento leva para um rumo onde algumas características de um combustível são essenciais, como queima limpa, minimização de partículas sólidas e ser reaproveitável; energia eólica, solar, catalítica e outros modos de energias futuristas esbarram sempre em questões diversas que acabam por desmotivar o seu uso.

Os óleos vegetais aparecem como uma fonte alternativa de combustível e o seu uso direto em motores de combustão interna não constitui uma inovação recente. Em 1900, Rudolf Diesel (1858 -1913), inventor do motor do ciclo diesel, utilizou óleo vegetal de amendoim para demonstrar seu invento em Paris.

O óleo vegetal como uma alternativa renovável de combustível foi proposto no início dos anos 80 como um concorrente direto ao óleo diesel com várias vantagens: líquido natural, renovável, alto valor energético, baixo conteúdo de enxofre, baixo conteúdo aromático e biodegradável. Entretanto, apesar de favorável do ponto de vista energético a utilização direta de óleos vegetais em motores diesel é muito problemática, ocorrendo carbonização na câmara de injeção, resistência à ejeção nos segmentos dos êmbolos, diluição do óleo do cárter, entre outros problemas.

As causas destes problemas foram atribuídas à polimerização dos triglicerídeos, através das suas ligações duplas, que conduzem à formação de depósitos. Como a baixa volatilidade e à alta viscosidade é a razão principal por que os óleos vegetais são transesterificados a biodiesel.

Um combustível biodegradável e próprio para ser usado em motores de ciclo diesel une a utilidade da extração do óleo de sementes com a facilidade de ter todos os requisitos de um combustível do futuro próximo. Por ser de queima limpa, seus produtos de combustão não formam cadeias aromáticas nem derivados de enxofre.

O biodiesel pode ser usado em qualquer proporção de mistura com o diesel comum ou simplesmente puro nos motores de combustão interna que já usam o diesel como combustível, sejam eles com controle eletrônico ou não, e ainda não requer nenhuma modificação no motor para que se utilize o biodiesel, desde que seja observado o seu grau de viscosidade. Essa é uma das grandes vantagens em utilizar o biodiesel, já que outros combustíveis alternativos demandam dispendiosas adaptações em motores e veículos, como é o caso do gás natural e do biogás.

O diesel é constituído de hidrocarbonetos com número médio de carbonos em torno de quatorze. Os óleos vegetais são triésteres da glicerina, ou seja, produtos naturais da condensação da glicerina com ácidos graxos, cujas cadeias laterais de ácidos graxos têm números de carbono variando entre dez e dezoito, com valor médio de quatorze a dezoito para os tipos de óleos mais abundantes.

Além da presença do grupamento funcional do tipo de éster, os óleos vegetais possuem peso molecular cerca de três vezes maior que o diesel. A transesterificação de um óleo com monoálcoois (alcoholize), especificamente metanol ou etanol, promove a quebra da molécula dos triglicerídeos, gerando mistura de ésteres metílicos ou etílicos dos ácidos graxos correspondentes, liberando glicerina como co-produto. O peso molecular desses monoésteres é próximo ao do diesel.

A biodiversidade brasileira em oleaginosas, de fato, contrasta com a cultura de utilização desse potencial como fonte de extração energética explorável, um paradoxo brasileiro que defronte à sua diversidade e riqueza de matéria-prima esbarra com o excesso de vontade política em manter a importação do barril de petróleo, não sobrando esforços nem investimento para uma energia que cresce em nossa terra.

A biomassa é uma fonte de energia contida nos óleos vegetais; em suma, algumas flores/folhas/sementes que tenham óleo em sua estrutura podem ser bem aproveitadas para o desenvolvimento do biodiesel, além da gordura animal, como o sebo.

O aproveitamento de óleos vegetais é, também, benéfico à sociedade, pois gera postos de trabalho e aumenta a oferta da fração protéica das oleaginosas, além de nitrogenar o solo durante o crescimento. Existe também o problema da inclusão social, onde a produção de oleaginosas em pequenos latifúndios geraria renda para a grande maioria de miseráveis das regiões rurais mais pobres do país.

## **2) OBJETIVOS GERAIS**

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma análise comparativa entre o petrodiesel e o biodiesel citando as vantagens e desvantagens de cada combustível bem como os problemas gerados na produção do biodiesel, como os cuidados na sua obtenção e no seu armazenamento.

## **3) BREVE HISTÓRICO**

Exedito Parente. Esse é o nome do engenheiro químico cearense que, aos 65 anos, registrou a primeira patente mundial do processo de produção industrial do biodiesel (Patente PI 8007957). O engenheiro ao observar uma viagem de ingazeiro despertou para a idéia de extrair o óleo para ver o que dava.

Parente, em 1977, já trabalhava na Universidade Federal do Ceará desenvolvendo tecnologias de combustíveis alternativos como o álcool a partir de celulose, mandioca e batata, matérias-primas nada convencionais.

No laboratório, Parente experimentou, a princípio, fazer a síntese a partir do óleo de algodão, que logo verificou que a viscosidade e as características aparentes se assemelhavam às do óleo diesel.

Experiências práticas posteriores comprovaram que aquele óleo funcionava e queimava muito bem nos motores. Exedito também se aventurou em criar o Prosene, um bioquerosene para aviação; compromisso assinado por ele com o CTA

(Centro Tecnológico Aeronáutico) em São José dos Campos, SP, através do Brigadeiro Délio Jardim de Mattos.

O Prodiesel, agora chamado de biodiesel, foi também extraído da mamona resultando em sucesso; mas essa nova fonte alternativa de energia esbarrou num calcanhar de Aquiles chamado política.

#### **4) A QUALIDADE DO AR**

O impacto do petrodiesel nos grandes centros urbanos gera custos astronômicos para o governo, seja como poluição do ar, seja como doenças respiratórias.

Em defesa da qualidade de vida e da saúde a alternativa viável, correta e nacionalista seria utilizar a biomassa nos automóveis que hoje utilizam diesel para transporte em nossas rodovias e cidades; os caminhões, carretas e ônibus diminuiriam a emissão de poluentes significativamente com a substituição do diesel comum pelo diesel biodegradável.

A adição de pequenas quantidades formando misturas com 5%, 10%, 15% e assim por diante como já foi determinado pelo governo é um começo, mas que não terá um impacto muito grande inicialmente como veremos mais adiante.

Veículos que utilizam energias alternativas são bem vistos em todo o mundo, mas ainda tem um custo muito elevado para a população em geral, não só na aquisição, visto que, a manutenção desses automóveis é um tanto custosa. Tecnologias de energia totalmente limpa, como os carros movidos a hidrogênio e os elétricos, ainda esbarram em problemas como o tamanho e a capacidade de armazenamento tanto no caso de baterias como no caso do gás hidrogênio muito volátil e de difícil armazenamento. Ainda há o fato de que essas novas tecnologias não atentem o transporte de cargas e pessoas apesar de já existirem ônibus movidos a hidrogênio na Europa em teste.

Atualmente os melhores avanços estão voltados para os veículos híbridos, de custo menor e que tem obtido uma excelente relação custo/benefício, como o Toyota Prius, que utiliza um pequeno motor à gasolina de 1.5 litros com 55kW de potência e 111Nm de torque conjugado a um motor elétrico de 50kW de potência e 400Nm de torque. Em acelerações mais baixas e no anda e para das cidades é possível utilizar somente o motor elétrico sendo que nas frenagens ele atua como um freio regenerativo carregando as baterias do carro. Em acelerações mais fortes o motor a combustão é ativado e os dois somados conseguem excelentes acelerações e retomadas de velocidade. Em viagens o computador do veículo tenta maximizar a eficiência dos dois motores utilizando ambos numa subida, por exemplo, ou usando o elétrico em descidas carregando as baterias e utilizando essa carga em piso plano.

Dessa forma é possível conseguir um rendimento muito bom a um custo mais baixo. Tomando como base os dados dos fabricantes, um carro com um motor de 1600cc e 100cv de potência pode fazer até 12km/l de gasolina na cidade, no caso do Prius esse número sobe para até 25,5km/l. Esse tipo de tecnologia também está sendo testada no transporte coletivo da cidade de São Paulo desde 2004 através do consorcio Eletra, que com tecnologia mundial desenvolve ônibus e caminhões com tecnologia híbrida. Só pra citar um exemplo um ônibus de uso urbano com capacidade para 170 pessoas pode, com a tecnologia híbrida, melhorar os níveis de emissões como fuligem em 86%, CO em 98%, Nox em 36% e HC em 96% abaixo dos limites da EURO II, utilizando o petrodiesel. Além disso, temos uma redução de 62db no ruído interno do coletivo <Eletra Bus>.

Assim, se imaginarmos que poderíamos a um custo relativamente baixo, e, seguindo as idéias de sucesso da tecnologia híbrida como do Prius e da Eletra, unir a tecnologia dos novos motores de injeção estratificada de combustível (que consiste em injetar pequenas quantidades de combustível ao longo do ciclo de compressão e explosão do motor ao invés de uma grande quantidade de uma única vez, visando otimizar a queima de combustível e assim melhorar o rendimento) que já vem sendo utilizada em motores europeus ao biodiesel, poderíamos amenizar bastante os problemas ambientais e de escassez do petróleo a um curto prazo ou até que as tecnologias 100% limpas estejam mais amadurecidas.

Podemos também vislumbrar, como já foi até noticiado pela imprensa nacional, a liberação dos motores a diesel para automóveis no Brasil, já que só veículos que carreguem mais de uma tonelada de carga ou que tenham tração nas quatro rodas e marcha reduzida podem utilizar esses motores. Isso irá contribuir para uma melhora nos índices de poluição das nossas cidades, já que com a tecnologia disponível, que não combina com o enxofre do nosso petrodiesel atual, poderíamos ter veículos mais econômicos e que poluem menos que os propulsados por motores do ciclo Otto e que já são presença absoluta na Europa.

## **5) AS QUESTÕES AMBIENTAIS**

Seria de fato, preponderante, utilizar meios de combustíveis com queima limpa, atendendo o protocolo de Kyoto.

### **5.1) O PROTOCOLO DE KYOTO**

O protocolo de Kyoto, resultado da 3ª Conferência das Partes da convenção das Nações Unidas sobre mudanças climáticas, realizada no Japão, em 1997, estabelece a redução das emissões de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa e aquecimento global nos países industrializados. A proposta de redução de poluentes foi de 5,2% até 2012 em relação aos níveis de 1990.

As reduções de gases poluentes devem englobar as atividades de energia e transportes tendo como algumas ações básicas que devem ser adotadas pelos países signatários:

- Reforma dos setores de energia e transportes;
- Promoção do uso de fontes energéticas renováveis;
- Redução das emissões de metano no gerenciamento de resíduos e dos sistemas energéticos;



→ Proteção de florestas e outros sumidouros de carbono;

A emissão de gases do Brasil é de 250 milhões de toneladas de carbono por ano, o que é dez vezes menor que dos EUA. No Brasil o total de CO<sub>2</sub> caiu 3% entre 1990 e 2000.

## **5.2) A CRONOLOGIA DO PROTOCOLO DE KYOTO**

1988 – O programa da ONU para o Meio Ambiente cria o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), para analisar o impacto das mudanças climáticas. Governantes e cientistas se reúnem em Toronto, no Canadá, para discutir o tema.

1990 – Os cientistas informam por meio do IPCC que seria necessário reduzir 60% das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera. A ONU passa a discutir a criação de uma Convenção sobre mudança climática.

1992 – Mais de 160 governos assinam a Convenção Quadro sobre mudança climática na Eco 92, no Rio de Janeiro. O Brasil é o primeiro a assiná-la. As mudanças climáticas são frutos da interferência humana.

1995 – É realizada a primeira Conferência das Partes (COPs), em Berlim, na Alemanha, onde é proposto um protocolo de decisões sobre as obrigações listadas na Convenção. O principal documento desta conferência foi o mandato de Berlim.

1997 – É adotado o Protocolo de Kyoto, no Japão, o mais importante acordo ambiental feito pela ONU. Até 2012, 38 países industrializados precisam reduzir em 5,2% as emissões de gases de efeito estufa, entre eles o CO<sub>2</sub>.

2001 – Os EUA, maior poluidor do mundo, se retiram das discussões sobre o Protocolo por considerá-lo custoso demais à economia norte-americana. O país é responsável por 36% das emissões globais de gases estufa e, desde 1990 aumentaram suas emissões em 13%.

2004 – Acontece a 10ª COP na Argentina. Cresce a pressão para que os países em desenvolvimento também tenham metas em 2012.

2005 – Entra em vigor o Protocolo de Kyoto a partir do mês de Fevereiro.

O protocolo também envolve o chamado comércio de emissões, que nada mais é que permitir que países comprem e vendam cotas de emissões de gás carbônico, ou seja, países que poluem muito podem comprar créditos não usados daqueles que tem direito em sua cota.

## **6) MOTORES CICLO DIESEL**

### **6.1) BREVE HISTÓRICO**

Construir um motor que utilizasse totalmente a energia do combustível. Essa era a idéia de Rudolf Diesel, o criador do motor que leva seu nome, desde os tempos de universidade, no final do século XIX, em Munique, Alemanha.

Depois de desenvolver vários projetos, Diesel conseguiu patentear sua idéia em 22 de fevereiro de 1893 e, após correções e ajustes, o motor foi oficialmente apresentado ao mercado em 1898 com 10cv de potência, com uma eficiência de 26,2% em comparação ao seu consumo específico, contra 16,6% alcançado na primeira versão (chamada de "Minha Amante Pretinha").

Rapidamente o motor ficou conhecido e começou a ser fabricado em toda a Alemanha, sendo as primeiras aplicações feitas em fábricas geradoras de energia. Uma das primeiras empresas a produzir motores Diesel estacionários foi a Benz & Cia, que anos mais tarde se dividiria em duas, formando a MWM (Motoren Werke Mannheim AG, ou "fábrica de motores de Mannheim"), que ficou com a produção de motores estacionários de grande porte, e a Daimler-Benz AG para a fabricação de pequeno porte e automóveis.

## 6.2) PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO

O princípio de funcionamento de um motor ciclo diesel pode ser dividido em quatro tempos, totalizando um ciclo. Esses tempos são semelhantes aos do motor de ciclo Otto.

Os tempos são:

### 1º Tempo: Aspiração

Nessa fase, o pistão desloca-se do ponto morto superior (PMS) ao ponto morto inferior (PMI), aspirando o ar por pressão negativa através da válvula de aspiração.

### 2º Tempo: Compressão

Nesta fase o pistão desloca-se do PMI ao PMS. No início do deslocamento a válvula de aspiração se fecha e o pistão começa a comprimir o ar na câmara de combustão. O ar, quando sujeito a esta compressão, sofre um aumento de temperatura que será tanto maior quanto for a compressão ou taxa de compressão.

### 3º Tempo: Combustão (Expansão)

Um pouco antes de o pistão atingir o PMS, o ar comprimido atinge uma pressão de 65 a 130kgf/cm<sup>2</sup> e uma temperatura de 600 a 800°C. Por meio do injetor, o combustível é fortemente pulverizado para o interior da câmara. Este combustível ao encontrar o ar, que se encontra na pressão e temperatura supracitada incendeia-se espontaneamente, forçando o pistão a se deslocar para o ponto morto inferior.

### 4º Tempo: Descarga

Um pouco antes de o pistão atingir o PMI, de onde iniciará o quarto tempo, a válvula de descarga se abre, permitindo a saída de uma parte dos gases de combustão que se encontra em alta pressão. Ao deslocar-se para o PMS expulsa o resto dos gases dando assim início a um novo ciclo.

### 6.3) REGIME DE FUNCIONAMENTO

Quanto ao regime de funcionamento eles podem ser classificados como:

**Diesel Lento** - Trabalham a uma rotação de 400 a 800 RPM. Estes motores por possuírem grandes dimensões são empregados onde a relação peso potência, não é importante, como nas embarcações marítimas, motores estacionários, etc. O combustível utilizado é o do tipo A.P.F.

**Diesel normal** - São os motores cujas rotações de trabalho variam de 800 a 2000 RPM. Esses motores eram usados nos primeiros caminhões e máquinas movidos a diesel.

**Diesel veloz** - Motores de rotações maiores que 2000 RPM. Este tipo de motor vem sendo ultimamente muito utilizado em máquinas pesadas, caminhões e ônibus.

**Diesel alta rotação** - Motores que trabalham com rotações superiores a 3000 RPM, utilizam gerenciamento eletrônico de combustível e ligas leves na sua construção. São motores de alto rendimento específico e muito utilizados em automóveis.

Os motores do ciclo diesel, são alimentados por meio de injeções diretas que podem ser por injeção pneumática, atualmente não utilizado, e por injeção Mecânica, este último, mais utilizado, utiliza de bombas mecânicas para injetar o combustível na câmara de combustão. Estas bombas podem ser unitárias por motor ou múltiplas, onde cada cilindro ou conjunto de cilindros possui uma bomba independente.

Recentemente temos também, empregado em larga escala, o sistema de injeção direta com gerenciamento eletrônico e o sistema de injeção estratificada de combustível, esse de rendimento excelente.

O rendimento teórico (Equação I) do motor de ciclo diesel pode ser obtido da seguinte maneira:

A figura 1 mostra o ciclo padrão de ar Diesel. Este ciclo é o ideal para o motor Diesel que também é conhecido por motor de ignição por compressão. Neste ciclo, o calor é transferido ao fluido de trabalho a pressão constante. Este processo corresponde à injeção e queima do combustível no motor Diesel real. Como o gás expande durante a transferência de calor no ciclo padrão a ar, a transferência de calor deve ser apenas o suficiente para manter a pressão constante. Quando se atinge o estado 3, a transferência de calor cessa e o gás sofre uma expansão isentrópica (processo 3-4) até que o pistão atinja o ponto morto inferior. A rejeição de calor ocorre a volume constante e com o pistão no ponto morto inferior. Esta rejeição simula os processos de descarga e de admissão do motor real.

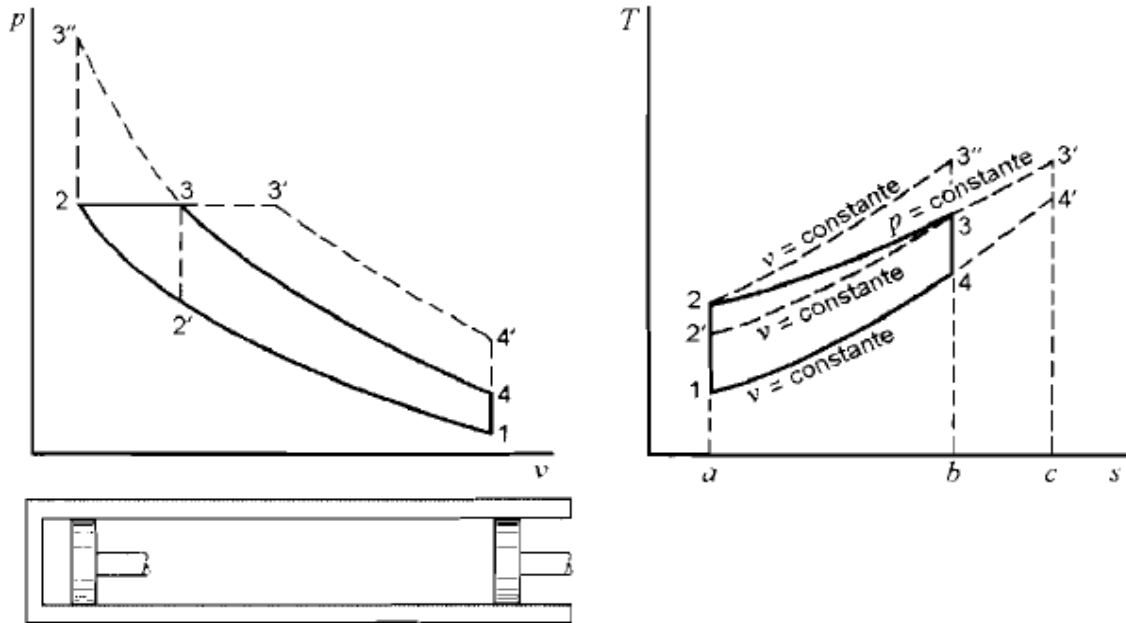


Figura 1: Ciclo Padrão ar Diesel. (WYALEN, 1998)

O rendimento do ciclo padrão Diesel é dado pela relação:

$$\eta_{\text{térmico}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1}{kT_2} \frac{(T_4/T_1 - 1)}{(T_3/T_2 - 1)} \quad (I)$$

É importante notar que a relação de compressão isentrópica no ciclo Diesel é maior do que a relação de expansão isentrópica. E, também, para um dado estado antes da compressão (isto é, dados os estados 1 e 2), o rendimento do ciclo diminui com o aumento da temperatura máxima. Isto é evidente analisando o diagrama T-s do ciclo. As linhas de pressão constante e volume constante convergem e, aumentando-se a temperatura de 3 para 3', necessita-se de grande adição de calor

(*área 3-3'-c-b-3*) e ocorre um aumento relativamente pequeno de trabalho (*área 3-3'-c-b-3*). (WYALEN; BORGNAKKE; SONNTAG, pág. 291-292. 1998)

Atualmente o rendimento dos motores de ciclo diesel tem girado em torno dos 35%, ante aos 27~30% dos motores ciclo Otto.

## **6.2) NOVAS TECNOLOGIAS**

Motores movidos a diesel vêm sendo amplamente utilizados nos países europeus devido ao seu baixo consumo de combustível e grande durabilidade. Esse uso mais amplo do diesel estimulou a indústria automobilística a buscar novas tecnologias visando não só melhorar o rendimento do conjunto, mas também se adequar às severas leis ambientais vigentes.

Alguns desses novos motores utilizam materiais nobres em sua construção tornando-os leves e silenciosos, diminuindo vibrações e perdas com atrito. Tecnologias como comandos de válvula variável, coletores de admissão com caminhos diferentes para cada regime de rotação, injeção eletrônica de combustível, catalisadores de gases, injeção estratificada de combustível, que consiste em injetar pequenas quantidades de combustível em intervalos de tempo pré-determinados ao invés de em uma quantidade única por ciclo.

Tudo isso tem gerado motores de rendimento superior aos de ciclo Otto, além de serem menos poluentes e possuírem grandes potências específicas.

Mas onde o Biodiesel entra nessa história?

Esses motores novos trabalham em regimes extremamente severos, exigindo um combustível de excelente qualidade e principalmente isentos de enxofre, que destrói as novas ligas metálicas e inutiliza os conversores catalíticos utilizados para reduzir as emissões.

A planta nacional de combustíveis não nos permite gerar atualmente um diesel isento de enxofre e o investimento seria massivo para chegarmos a essa exigência, por isso o Biodiesel entra fortemente no mercado, sendo um combustível que, se bem feito, tem qualidade para suprir esses motores e nos deixar na vanguarda da tecnologia.

É importante salientar que para o biodiesel poder ser usado nesses novos motores o seu processo de produção deve ser muito bem controlado para evitar que impurezas nocivas a esses motores de alta tecnologia e até mesmo aos antigos motores gerem prejuízos. Além disso, o processo de armazenagem e transporte do biodiesel ainda precisa ser mais bem estudado, por ser higroscópico o biodiesel oxida facilmente. Aditivos que evitam essa oxidação já vêm sendo desenvolvidos com sucesso pela Petrobras.

## 7) PROCESSOS DE PRODUÇÃO

Temos 3 rotas básicas para produção do éster proveniente das gorduras e óleos:

**Conversão** do óleo para ácidos saturados, e depois para ésteres alcalinos utilizando ácidos catalíticos;

**Esterificação:** Ácido diretamente catalizado esterificado do óleo utilizando metanol;

**Transesterificação:** Base catalisada transesterificada do óleo com álcool. Separação da glicerina da gordura vegetal ou óleo vegetal gerando assim dois produtos: éster (nome químico do biodiesel) e glicerina (utilizada no mercado de sabões). Nesse processo podem ser usados dois tipos de álcool, o etanol e o metanol.

“O que tem sido denominado de BIODIESEL, é um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, sucedâneo ao óleo diesel mineral, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo

com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente.” (PARENTE, 2003, p. 13).

De forma prática temos: após a obtenção do óleo extraído de alguma semente, como mamona, girassol, babaçu ou soja, faz-se a reação desse óleo com um álcool na presença de uma base catalítica, que pode ser hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio, obtendo-se glicerina e biodiesel como produtos. A essa reação dá-se o nome de transesterificação, que é a mais usada por alguns motivos. São eles:

- Baixa temperatura ( $65,5^{\circ}\text{C}$ ) e baixa pressão ( $1,4\text{kgf/cm}^2$ ) de processamento;
- Alta conversão (98%) com baixo tempo e mínima quantidade de reações;
- Conversão direta do éster metílico sem passos intermediários;

Encontramos métodos de fabricação simples e fáceis para que o biodiesel seja feitos de modo experimental “em casa”. Esse tipo de produção deve ser utilizado com cuidado nos motores devido a não ser totalmente confiável, podendo conter vestígios de água, álcool ou outras impurezas que poderão danificar o motor.

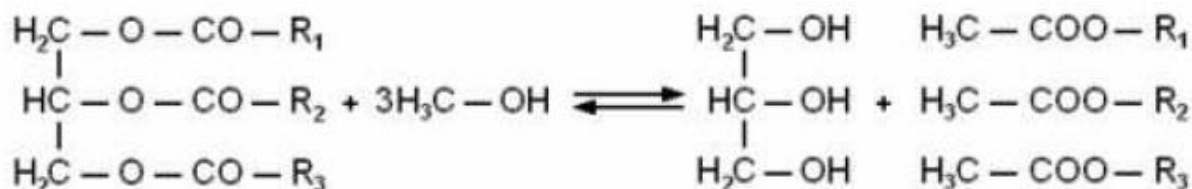
Esquematicamente:



Figura 2: Forma esquemática de representação do processo de produção do Biodiesel

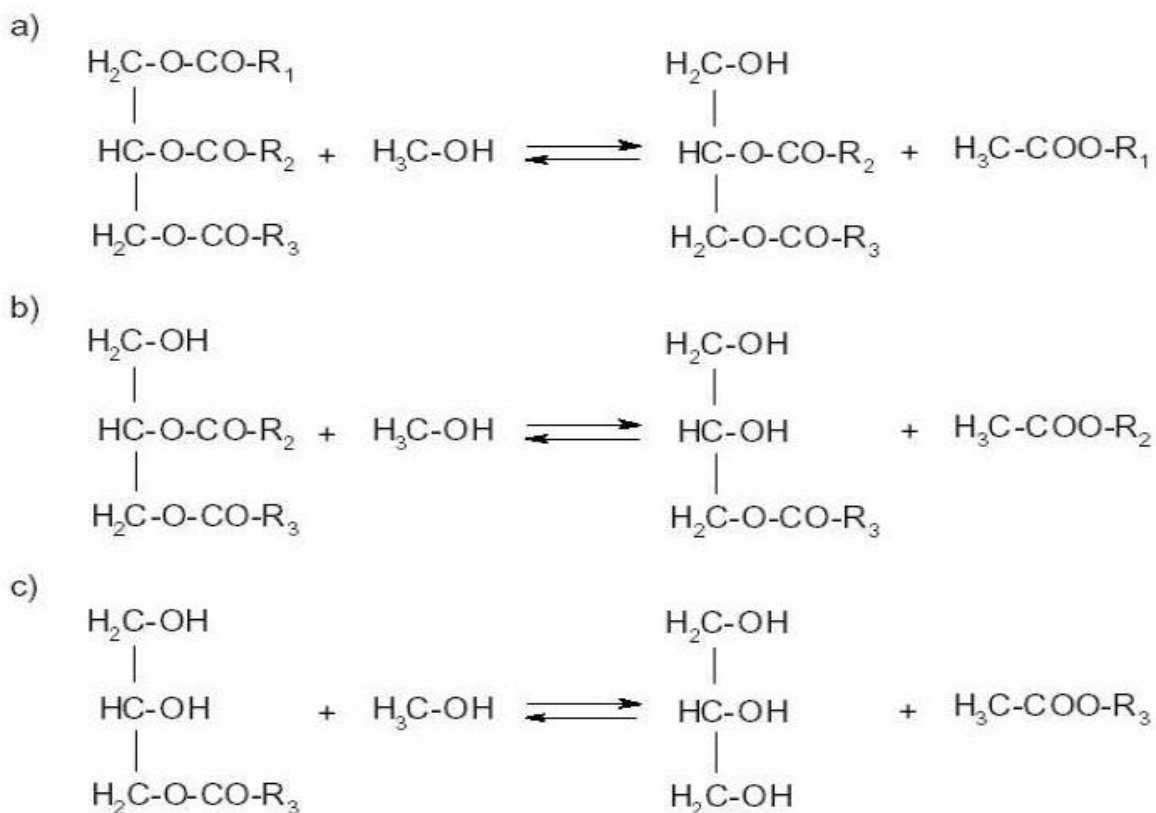


Para a obtenção do óleo mineral faz-se o processo de prensagem da semente extraíndo o óleo bruto, enquanto a torta (bagaço) pode ser utilizada como adubo orgânico, realiza-se o processo de transesterificação obtendo a glicerina e biodiesel.



Equação II: Reação de transesterificação de triglicerídeos.

Nesta reação, são necessários três moles de álcool por mol de triglicerídeo. Na prática, é sempre utilizado um excesso de álcool de modo a aumentar o rendimento em ésteres (deslocar a reação para o lado dos produtos) e permitir a separação do glicerol formado.



Equação III: Esquema da reação de transesterificação em etapas.

A reação acima mostra a obtenção do biodiesel pela rota metílica, ou seja, utilizando o metanol. No caso do Brasil seria mais indicado a utilização da rota etílica seria mais econômica devido a abundância desse álcool.

Com relação aos catalisadores, a transesterificação pode ser realizada tanto em meio ácido quanto em meio básico. Porém, ela ocorre de maneira mais rápida na presença de um catalisador alcalino.

É importante referir que, apenas os álcoois simples tais como o metanol, etanol, propanol e butanol, podem ser utilizados na transesterificação. Dentre estes, o metanol e o etanol são os mais utilizados, sendo a utilização de metanol geralmente preferida por razões econômicas e por razões relacionadas com o processo. Apesar de o metanol ser mais barato e apresentar isenção de água, além dele apresentar uma cadeia mais curta e uma maior polaridade (o que facilita a separação entre éster e glicerina), a utilização do etanol é mais atrativa do ponto de vista ambiental, uma vez que o etanol pode ser obtido de uma fonte renovável e não é tóxico como o metanol. No entanto, a utilização do etanol implica que este esteja isento de água, assim como que o óleo utilizado como matéria prima apresente um baixo conteúdo de água, pois caso contrário a separação da glicerina será difícil.

Quantidades e Condições Usuais Médias Aproximadas	Rotas de Processo	
	Metílica	Etílica
- Quantidade Consumida de Álcool por 1.000 litros de biodiesel	90 kg	130 kg
- Preço Médio do Álcool, US\$ / kg	190	360
- Excesso Recomendado de Álcool, recuperável, por destilação, após reação	100%	650%
- Temperatura Recomendada de Reação	60°C	85°C
- Tempo de Reação	45 minutos	90 minutos

Tabela 1: Comparação das rotas metílica e etílica (PARENTE, 2003).

A tabela acima nos mostra que a reação metílica é bem mais rentável, mas como o metanol é um combustível extremamente tóxico e perigoso e como no Brasil o etanol é um combustível de fácil obtenção, certamente ele será o escolhido pela maioria dos fabricantes.

A reação em forma de cadeias também pode ser representada da seguinte forma:

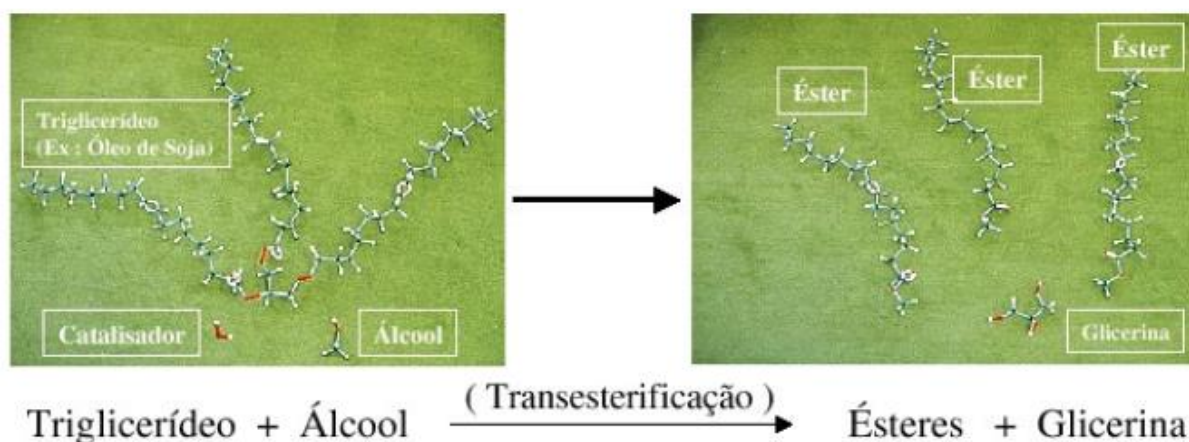


Figura 3: Reação de transesterificação do biodiesel.

Na figura abaixo podemos observar após a reação de transesterificação os produtos glicerina e biodiesel separados por diferença de densidade.



Figura 4: Biodiesel e glicerina separados por diferença de densidade.

Na figura podemos ver claramente que após a decantação da glicerina (que é mais densa) o biodiesel fica separado na parte superior do recipiente.

## 7.1) PRODUZINDO O BIODIESEL

Com o objetivo de experimentar a produção do biodiesel realizamos o processo de produção por transesterificação e rota metílica. Todo processo foi feito em casa comprovando o que muitos sites ensinavam: “produzir seu próprio combustível em casa” – principalmente em sites estrangeiros que incentivam e despertam maior

interesse do público, pois grande parte de seus automóveis são movidos a diesel – experimentamos e comprovamos que realmente é possível.

Adquirimos os seguintes produtos: álcool metílico (sua venda é estritamente controlada pela Polícia Federal no Brasil), hidróxido de sódio e óleo de soja.



Figura 5: produtos usados no processo de produção do biodiesel.

Seguimos as instruções de produção encontradas em um site norte-americano:

- Adicione 4 gramas de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) – mais conhecida como soda cáustica – em 250 ml de álcool metílico (metanol); fazer em área ventilada;
- Agitar até dissolver tudo (+/- 10 minutos), em recipiente fechado; é normal a temperatura subir muito;
- Adicionar 1 litro de óleo não usado à temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  em um recipiente;
- Juntar a solução metóxido com o óleo a  $60^{\circ}\text{C}$ ;
- Misture vigorosamente por 10 segundos;
- Após 10 minutos a divisão biodiesel e glicerina começa;
- Após 1 hora a separação estará quase totalmente finalizada;

Após realizar o processo visualizamos:



Figura 6: após 15 minutos de decantação.



Figura 7: após 50 minutos de decantação.

Ainda é importante fazer a lavagem do biodiesel. Após extrair a glicerina (mais escura, por baixo) adiciona-se água destilada ao óleo para que as moléculas polares provenientes da reação se associem à ela e fazer uma segunda decantação, para retirar a água; pode-se aquecer o biodiesel para retirar o excesso de umidade. Um malefício que essas moléculas polares podem causar no motor é o acúmulo de incrustações e formação de fuligem.

## **8) PROPRIEDADES**

### **8.1) PROPRIEDADES FÍSICAS:**

#### **Viscosidade e Densidade**

É uma das propriedades fluidodinâmicas de um combustível, importante no que diz respeito ao funcionamento de motores de injeção direta (motores diesel), são a viscosidade e a densidade. Tais propriedades exercem grande influência na circulação e injeção do combustível. As propriedades fluidodinâmicas do biodiesel, independentemente de sua origem, assemelham-se as do óleo diesel mineral, mas isso não significa que não seja necessário regulagens no sistema de injeção dos motores, sendo eles mecânicos ou eletrônicos. Certos óleos vegetais produzem um biodiesel mais viscoso que deve ser corrigido através de mistura com o diesel

mineral, como o do biodiesel obtido através do óleo de soja. Viscosidades elevadas levam a quebra do sistema de injeção de combustível devido à alta pressão com que esse trabalha.

### **Lubricidade**

É uma medida do poder de lubrificação de uma substância, sendo uma função de várias de suas propriedades físicas, destacando a viscosidade e a tensão superficial. Diferentemente dos motores movidos à gasolina, os motores a óleo diesel exigem que o combustível tenha propriedades de lubrificação, especialmente, em razão do funcionamento da bomba, exigindo que o líquido que escoar lubrifique adequadamente as suas peças em movimento, a presença de água no combustível, por exemplo, pode causar a destruição dos sistemas mecânicos que entram em contato com o combustível. O Biodiesel tem lubricidade semelhante ao diesel mineral, não havendo problemas com a lubrificação das partes móveis dos sistemas de injeção.

### **Ponto de Névoa e de Fluidez**

O ponto de névoa é a temperatura em que o líquido, por refrigeração, começa a ficar turvo, e o ponto de fluidez é a temperatura em que o líquido não mais escoar livremente. Tanto o ponto de fluidez como o ponto de névoa do biodiesel variam segundo a matéria prima que lhe deu origem, e ainda, a o álcool utilizado na reação de transesterificação. Estas propriedades são consideradas importantes no que diz respeito à temperatura ambientes onde o combustível deva ser armazenado e utilizado. Todavia, no Brasil, as temperaturas são amenas, constituindo nenhum problema de congelamento do biodiesel.

### **Ponto de Fulgor**

É a temperatura em que um líquido torna-se inflamável em presença de uma chama ou faísca. Esta propriedade somente assume importância no que diz respeito à segurança nos transportes, manuseios e armazenamentos. O ponto de fulgor do biodiesel, se completamente isento de metanol ou etanol, é superior à temperatura

ambiente, significando que o combustível não é inflamável nas condições normais onde ele é transportado, manuseado e armazenado, servindo inclusive para ser utilizado em embarcações.

### **Poder Calorífico**

O poder calorífico de um combustível indica a quantidade de energia liberada pelo combustível por unidade de massa, quando ele é queimado em condições padrões. No caso de um combustível de motores, a queima significa a combustão no funcionamento do motor. O poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral. A diferença média em favor do óleo diesel do petróleo situa-se na ordem de somente 5%. Entretanto, com uma combustão mais completa, o biodiesel possui um consumo específico equivalente ao diesel mineral.

### **Índice de Cetano**

O índice de octano ou octanagem dos combustíveis está para motores do ciclo Otto, da mesma forma que o índice de cetano ou cetanagem está para os motores do ciclo Diesel. Portanto quanto maior for o índice de cetano de um combustível, melhor será a combustão desse combustível num motor diesel. O índice de cetano médio do biodiesel é 60, enquanto para o óleo diesel mineral a cetanagem situa-se entre 48 a 52, bastante menor, sendo esta a razão pelo qual o biodiesel queima muito melhor num motor diesel que o próprio óleo diesel mineral.

## **8.2) PROPRIEDADES QUÍMICAS**

### **Teor de Enxofre**

Como os óleos vegetais e as gorduras de animais não possuem enxofre, o biodiesel é praticamente isento desse elemento. Os produtos derivados do enxofre são bastante danosos ao meio ambiente, ao motor e seus pertences. O biodiesel é um combustível limpo, enquanto o diesel mineral, possuindo enxofre, danifica a flora, a fauna, o homem e o motor. O enxofre também impede o uso de certas tecnologias

como a injeção estratificada de combustível e o uso de catalisadores dos gases de combustão.

### **Poder de Solvência**

O biodiesel, sendo constituído por uma mistura de ésteres de ácidos carboxílicos, solubiliza um grupo muito grande de substâncias orgânicas, incluindo-se as resinas que compõem as tintas. Dessa forma, cuidados especiais com o manuseio do biodiesel devem ser tomados para evitar danos à pintura dos veículos, nas proximidades do ponto ou bocal de abastecimento.

De modo geral, o biodiesel é similar ao diesel comercializado atualmente, por isso pode ser utilizado numa concentração de 100% num motor a diesel sem prejuízos e sem adaptações. (PARENTE, 2003)

A seguir veremos uma tabela comparativa das principais propriedades dos óleos utilizados nos motores ciclo diesel:

Propriedade	Biodiesel (C <sub>12</sub> - C <sub>22</sub> )	Diesel Mineral (C <sub>10</sub> - C <sub>21</sub> )
Viscosidade e Densidade	3,5 – 5cst	3 - 4,5cst
Lubricidade	Semelhante ao do Diesel Mineral	
Ponto de Névoa e Fluidez	(-15/ +16°C)	(-35 / -15°C)
Ponto de Fulgor	120 - 170°C	60 - 80°C
Poder calorífico	9800 kcal/kg	10800 kcal/kg
Índice de Cetano (ASTM D613)	48 à 60 cetanas	48 à 52 cetanas
Teor de enxofre (%) em massa)	0	0,35 (tipo B) - 0,20 (tipo D)
Relação estequiométrica	13,8 A/C	15 A/C

Tabela 2: Propriedades do diesel e biodiesel



### 8.3) RENDIMENTOS

Em testes realizados na década de 80, em ônibus, caminhões e tratores, por mais de um milhão de quilômetros, mostraram que todos os veículos que operaram com 100% de éster metílico ou etílico de óleo de soja não apresentaram problemas significativos durante o decorrer do teste de campo (MIC, 1985). As medições do desempenho dos motores, em dinamômetro no final dos ensaios, e sua desmontagem completa para verificação do desgaste e depósitos, confirmaram os resultados satisfatórios observados. Em dois ou três (dos cerca de dez) tipos de motores testados foram necessárias modificações no processo de combustão para controle da diluição do lubrificante pelo combustível.

O rendimento dos motores e o consumo de combustível são praticamente idênticos para o óleo mineral e os ésteres. Verificou-se, porém, para os ésteres, a combustão incompleta revelada pela formação de fumaça branca e também um efeito acentuado de lavagem do óleo lubrificante das paredes do cilindro do motor, aumentando o seu desgaste. Este efeito de lavagem reduz a vida útil do lubrificante e do motor. Os desenvolvimentos futuros devem direcionar-se para a produção de óleos lubrificantes estáveis aos óleos transesterificados ou para a pesquisa de processamentos de óleos vegetais que produzam combustíveis que não contaminem os lubrificantes, a custos razoáveis (PARENTE, 1993).

Acreditamos que atualmente com a adição da tecnologia eletrônica e com a melhora nos óleos lubrificantes, será possível o uso do biodiesel sem a ocorrência dos casos de lavagem da câmara de combustão, mas que ainda seriam necessários estudos no que tange a resistência dos óleos lubrificantes ao ataque dos ésteres.

Como nos testes na década de 80 não contemplavam as emissões, fator decisivo atualmente, novos testes vem sendo realizados pelo Brasil, como é o caso do teste feito na FEM (Faculdade de Engenharia Mecânica) da Unicamp por André Valente Bueno, que constatou usando um motor convencional de picafe e simulando condições de operação no trânsito, constatou a redução significativa da emissão de poluentes utilizando a mistura B20 (20% de biodiesel e 80% de petrodiesel) sem causar nenhum problema no motor.

Em recente estudo feito pela UNIOESTE de Santa Helena - PR foram utilizados máquinas agrícolas para uma avaliação mais profunda do comportamento dos motores ciclo diesel mais modernos, porém com injeção mecânica de combustível. Os maiores problemas encontrados foram os mesmo que PARENTE já se deparou na década de 80, como quebras relativas a falha na lubrificação, entupimento de filtros e danos as câmaras de combustão quando utilizado o B100. Testes utilizando misturas até a B50 demonstram excelentes resultados, tanto no consumo como na potência e torque dos motores. A partir daí temos uma queda no desempenho, acreditamos que devido ao sistema de injeção mecânico não conseguir compensar a mistura A/C tornando-a pobre, o que prejudica a combustão e consequentemente o motor. (SILVA, 2006)

Os testes foram feitos em máquinas cedidas pela AGCO – Massey Ferguson e podemos observar nos resultados a seguir:

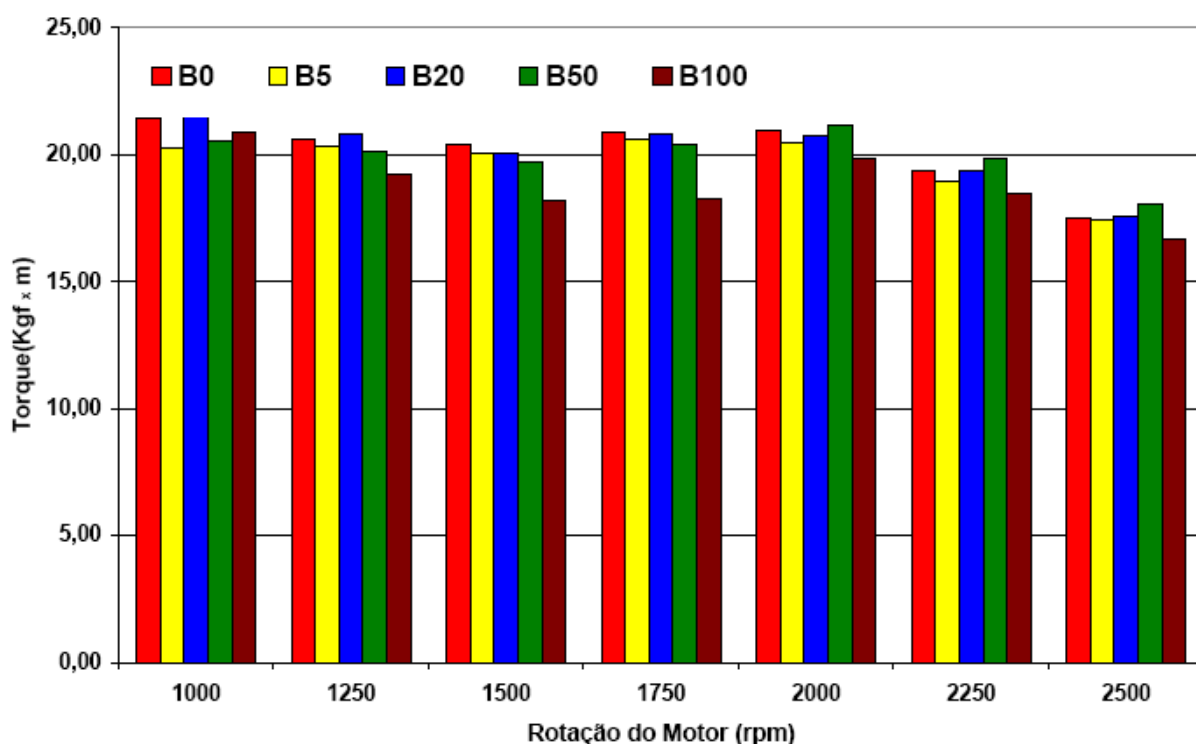


Gráfico 1: Ensaio de torque na bancada dinamométrica(SILVA, 2006)

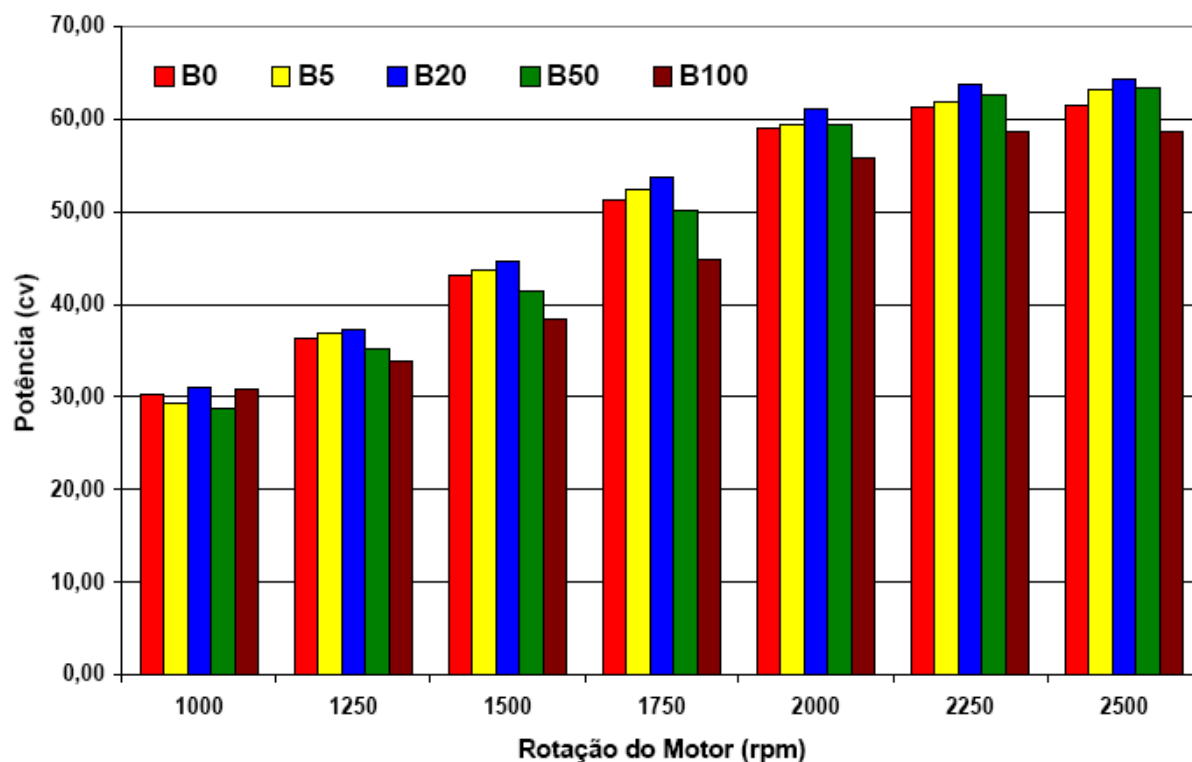


Gráfico 2: Ensaio de potência medida em bancada dinamométrica. (SILVA, 2006)

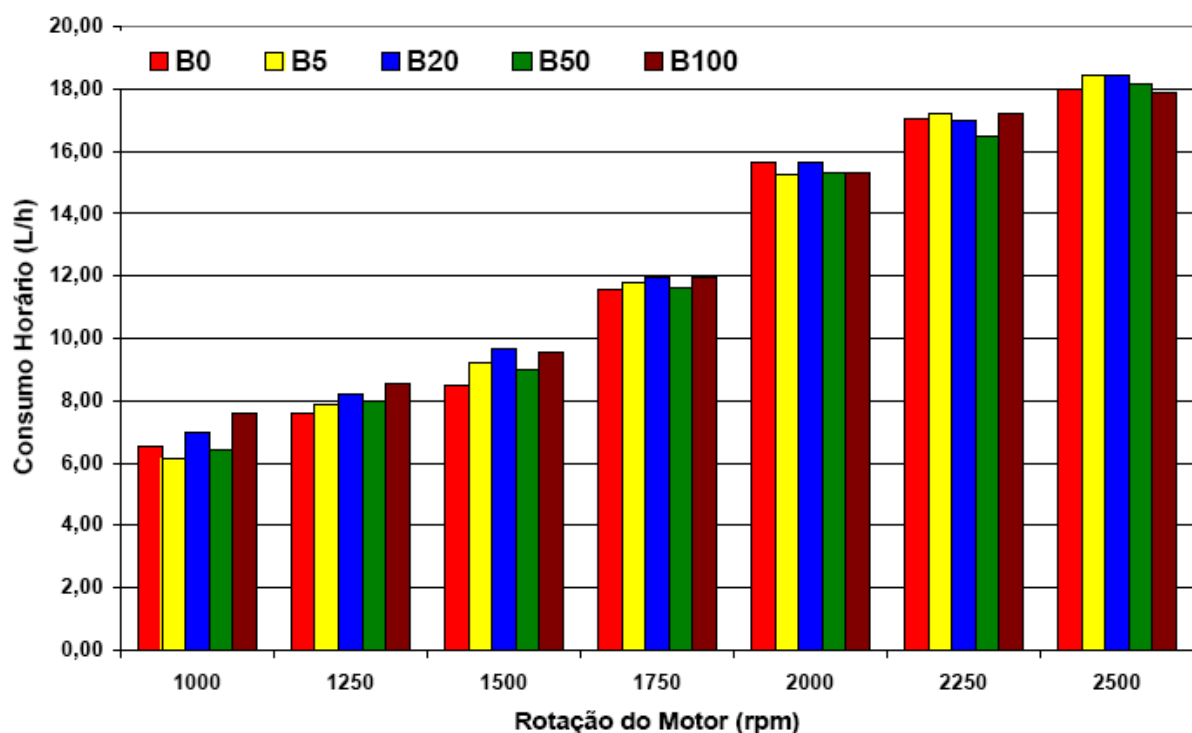


Gráfico 3: Ensaio de consumo em bancada dinamométrica. (SILVA, 2006)

Em outra pesquisa, semelhante à proposta inicialmente para esse projeto, foi utilizado um gerador elétrico da Marca Yanmar do Brasil S.A. modelo NSB50 com sistema de gerenciamento de injeção mecânico, trabalhando a 1800rpm em regime

constante e sob as mesmas condições utilizando óleo de soja usado em frituras filtrado, para diferentes concentrações. (FERRARI, SCABIO E OLIVEIRA, 2004)

Os resultados apresentados são semelhantes aos obtidos por SILVA, como podemos ver a seguir:

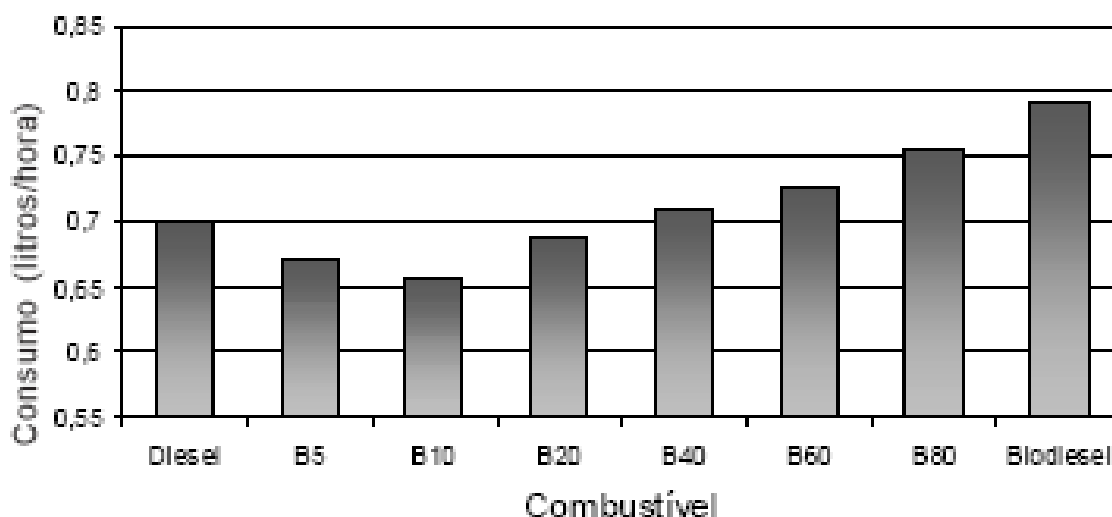


Gráfico 4: Perfil do consumo de combustível de acordo com a mistura.

Apesar do calor de combustão do biodiesel ser menor se comparado com o do diesel mineral, o número de cetano é maior, o número de cetano é a riqueza do óleo combustível, é análogo à octanagem para gasolina. Observamos isso quando olhamos os gráficos comparativos e só observamos queda de rendimento a partir do momento em que os sistemas mais antigos de injeção não enxergam que a mistura começa a ficar pobre, ou seja, não conseguem distinguir o ponto em que começa a faltar combustível e sobrar ar.

Ou até mesmo um problema seja não a mistura, mas o ponto de injeção, que não pode ser muito alterado nos motores sem o auxílio da tecnologia. Isso causa uma queda de rendimento que ao ser compensada pela maior injeção de combustível acaba por causar o efeito de lavagem, onde o óleo combustível “lava” o óleo lubrificante das camisas do motor causando um maior desgaste e consequentemente reduzindo a sua vida útil. A continuação desse lavagem irá causar a contaminação do óleo lubrificante que levará a um colapso na lubrificação

do motor culminando com a total destruição das partes móveis se não for feito um acompanhamento cuidadoso do lubrificante.

Segundo SILVA o maior problema do biodiesel ainda é a processo de produção:

“O grande problema é que o óleo vegetal tem resíduos que alteram o desempenho do motor. Ainda são precisos testes para descobriremos formas adequadas de utilizá-lo sem danificar o motor” (SILVA, 2006, p. 4)

A mistura dos dois resultará numa correção de viscosidade; esse tipo de uso benéfico diminuirá o consumo de derivados do petróleo e minimizará os efeitos nocivos ambientais.

O teor de enxofre do biodiesel é quase nulo, qualidade bem vista pelos olhos do meio ambiente.

Na tabela a seguir temos o rendimento de algumas das mais importantes oleaginosas do Brasil:

Características de alguns vegetais com potencial para produção de biodiesel

<b>Espécie</b>	<b>Origem do óleo</b>	<b>Conteúdo de óleo (%)</b>	<b>Meses de colheita</b>	<b>Rendimento em Óleo (t/ha)</b>
Dendê ( <i>Elaeis guineensis</i> N.)	Amêndoa	26	12	3,0-6,0
Babaçu ( <i>Attalea speciosa</i> M.)	Amêndoa	66	12	0,4-0,8
Girassol ( <i>Helianthus annus</i> )	Grão	38-48	3	0,5-1,5
Colza ( <i>Brassica campestris</i> )	Grão	40-48	3	0,5-0,9
Mamona ( <i>Ricinus communis</i> )	Grão	43-45	3	0,5-1,0
Amendoim ( <i>Arachis hipogaea</i> )	Grão	40-50	3	0,6-0,8
Soja ( <i>Glycine max</i> )	Grão	17	3	0,2-0,6

Tabela 3: Disponibilidade de óleo em cada espécie de oleaginosa

Essa tabela nos mostra o percentual de extração de óleo para cada espécie de vegetal e nos fornece uma informação muito importante que é o rendimento em óleo de cada tonelada de oleaginosa por hectare. Dado que permite estimar o tamanho

de um cultivo para produzir, de uma determinada espécie, a quantidade nominal de uma planta de processamento de biodiesel.

Como exemplo, temos o Dendê que nos fornece mais óleo por hectare plantado: de 3,0 a 6,0 toneladas por cada hectare. Em último lugar temos a soja com uma disponibilidade de óleo de apenas 0,2 a 0,6 tonelada por hectare.

#### **8.4)BALANÇO ENERGÉTICO**

Estudos ambientais recentes questionam esta associação direta como “ecologicamente correto” ou “ambientalmente amigável” (UBA, 1999). A discussão da sustentabilidade ecológica na produção e uso de um biocombustível deve considerar aspectos específicos, destacando entre eles: o monitoramento de toda a cadeia de produção do biocombustível (cultivo, processamento, uso/conversão e destinação dos resíduos), limites da capacidade de regeneração dos recursos naturais, de tal modo que a taxa de utilização não supere a capacidade de renovação e possíveis conflitos e concorrências no uso das matérias-primas e recursos naturais utilizados na produção do biocombustível, como por exemplo, o conflito entre produção de alimentos *versus* produção de energia.

A relação entre energia investida na produção de um combustível (*input*) e a energia obtida na sua combustão (*output*) é um indicador importante na viabilidade econômica e ambiental de um processo. Estudos apontam que as emissões específicas de CO<sub>2</sub> (g CO<sub>2</sub>/MJ) são inversamente proporcionais ao valor *Output/Input* (O/I) para os biocombustíveis (SCHARMER et al. 1996).

A tabela a seguir apresenta os valores para o consumo energético de diversos produtos utilizados para o cálculo *Input* e *Output* no ciclo de vida do biodiesel etílico e metílico de mamona.

O *Input* no sistema pode ser dividido em:

Energia Direta: é a energia consumida na forma de combustíveis fósseis, eletricidade, vapor e lenha na cadeia de produção dos combustíveis. É calculada a partir da energia primária fóssil consumida na sua produção (etanol e eletricidade) ou do Poder Calorífico Inferior (PCI) para os demais combustíveis;

Energia Indireta: é a energia consumida na forma de insumos agrícolas, equipamentos, máquinas, prédios e transporte;

Energia de transporte: energia empregada no transporte das matérias-primas e do produto final, sendo estimada a partir da distância, da carga transportada e do consumo de combustível.

O *Output* é obtido a partir da energia contida no produto final e nos co-produtos ou resíduos do processo, sendo calculado com base no seu uso final (alimentação, adubo e combustível). Como alimento é baseado na energia metabólica do produto, como adubo no consumo de energia fóssil na cadeia do produto e como combustível no seu PCI.

Item	Consumo energético	Unidade
1. Semente de Mamona	5,69	MJ/kg
2. Adubos e corretivos		
- Uréia	60,00	MJ/kg N
- Superfostato simples	12,00	MJ/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
- Cloreto de potássio	6,00	MJ/kg K <sub>2</sub> O
- Calcário	2,00	MJ/kg CaO
3. Herbicida	455,00	MJ/kg produto
4. Metanol	19,70	MJ/kg a 0,79 g/cm <sup>3</sup>
5. Etanol <sup>1</sup>	2,91	MJ/kg, PCI de 26,80 MJ/kg a 0,79 g/cm <sup>3</sup>
6. Hexano	6,70	MJ/kg
7. Diesel	50,20	MJ/kg, PCI de 42,50 MJ/kg a 0,84 g/cm <sup>3</sup>
8. Caminhão diesel 15,0 T	0,43	MJ/kg бага transportada de 250 km dist.
9. Torta de mamona magra		
- Uso como combustível	17,6	MJ/kg com < 1,5% óleo
- Uso como ração <sup>2</sup>	11,5	umidade de 12% m
- Uso como adubo	4,6	
10. Óleo de mamona centrif. e filtrado	39,50	MJ/kg a 0,96 g/cm <sup>3</sup>
11. Éster metílico de mamona	39,60	MJ/kg a 0,89 g/cm <sup>3</sup>
12. Éster etílico de mamona	39,80	MJ/kg a 0,89 g/cm <sup>3</sup>
13. Glicerina residual		
- Uso como combustível	18,05	MJ/kg a 1,26 g/cm <sup>3</sup>
- Uso como ração**	0,42	e <0,4% m metanol
14. Energia elétrica (ref. 92% hidreletricidade)	0,29 (3,60)	MJ/KWh
15. Catalisador (KOH)	4,41	MJ/kg
16. Ácido fosfórico	8,20	MJ/kg
17. Trator 2 X 4 de 90 hp	69,00	MJ/kg

Fonte : ANGGRAINI, A. A. et al. 1998, MACEDO, 1997 e dados da pesquisa.

<sup>1</sup>o consumo energético para o etanol foi estimado com base na relação *O/I* 9,2:1 <sup>2</sup> após remoção de componentes tóxicos.

Tabela 4: Comparação entre os valores médios de consumo energético e PCI de diferentes insumos e produtos.

Para avaliar a eficiência da substituição de energia fóssil por energia renovável na adoção do biodiesel, calculou-se a relação (O/I):

No.	Energia Etapa	consumida (GJ)		produzida (GJ)		Energia (GJ)	Coproduto	Qtde (T)	Energia (GJ)	Alocação de coprodutos	O/I
		por etapa	acumulado	Produto principal	Qtde (T)						
1	Agrícola e transporte <sup>1</sup>	18,48	18,48	Baga	1,8	49,9	---	---	---	---	2,70
2	Esmagamento e refino <sup>2</sup>	3,67	22,15	Óleo Nr. 1	0,77	30,57	Torta de Mamona	0,95	16,79	Combustível	2,14
									10,97	Ração	1,88
									4,39	Adubo	1,58
3	Produção biodiesel <sup>3</sup>	2,54	24,69	Ésteres Metílicos	0,74	29,33	Glicerina + AGL	0,10	0,00	Sem aproveitamento	1,38
									1,89	Combustível	1,26
									0,04	Ração	1,19
									0,00	Sem aproveitamento	1,19

Fonte : <sup>1</sup>EBDA (considerada produtividade da baga sem casca), <sup>2</sup>BOMBRASIL/BRASWEY/ECOTECH, <sup>3</sup>TECBIO

Tabela 5: Balanço energético na produção de ésteres metílicos de mamona por hectare, para o cenário padrão.

No.	Energia Etapa	consumida (GJ)		produzida (GJ)		Energia (GJ)	Sub- produto	Qtde (T)	Energia (GJ)	Alocação de coprodutos	O/I
		por etapa	acumulado	Produto principal	Qtde (T)						
1	Agrícola e transporte*	18,48	18,48	Baga	1,8	49,9	---	---	---	---	2,70
2	Esmagamento e refino**	3,67	22,15	Óleo Nr. 1	0,77	30,57	Torta de Mamona	0,95	16,79	Combustível	2,14
									10,97	Ração	1,88
									4,39	Adubo	1,58
3	Produção biodiesel****	1,67	23,82	Ésteres etílicos	0,75	29,96	Glicerina + AGL	0,13	0,00	Sem aproveitamento	1,38
									2,34	Combustível	1,36
									0,05	Ração	1,26
									0,00	Sem aproveitamento	1,26

Fonte : <sup>1</sup>EBDA (considerada produtividade da baga sem casca), <sup>2</sup>BOMBRASIL/BRASWEY/ECOTECH, <sup>3</sup>TECBIO

Tabela 6: Balanço energético na produção de ésteres etílicos de mamona por hectare, para o cenário padrão.

A relação O/I para um biocombustível indica a sua eficiência na substituição de energia fóssil, ou seja, quando maior que um, mais energia renovável é obtida por unidade de energia fóssil investida na produção de biocombustível. Para o diesel, a relação O/I indica que cada unidade de energia fóssil utilizada no ciclo de vida do diesel produz entre 0,83-0,85 unidades de energia útil em combustível.

## 9) OXIDAÇÃO DO BIODIESEL

Um problema encontrado na produção e consequentemente na estocagem do biodiesel está aqui: sua oxidação.

O biodiesel – éster – é de natureza insaturada por isso é suscetível à oxidação. Óleos vegetais são oxidados através do contato com partículas de oxigênio



encontradas no ar; quando a oxidação ocorre sem nenhuma influência de agente externo é denominada autooxidação. A autooxidação ocorre em radicais livres e é propagada por radicais como  $\text{CH}_2$ .

Estudos mostram a pretensão de se desenvolver um estabilizador para reduzir e acabar com a reação de oxidação em cadeia. Nenhum produto foi mostrado eficiente ainda e por enquanto só resta utilizar eficiente e rapidamente o biodiesel produzido. Poucos estudos foram realizados, até o momento, para identificar o nível de oxidação do biodiesel no transporte e armazenamento até o consumidor final, mas isso ainda é pouco relevante, visto que, misturado ao óleo mineral ele não sofre desse mal.

A oxidação do biodiesel tem um lado benéfico no que tange a problemas de derrame no meio ambiente, por ser higroscópico e biodegradável ele causa poucos danos ao meio ambiente na fatalidade de um acidente.

## 10) BIODIESEL NO BRASIL

O Brasil por ter uma grande região geográfica e climas distintos em suas regiões produz diferentes tipos de oleaginosas. Além do estudo de aproveitamento energético de cada uma delas há o aproveitamento alternativo em outros tipos de indústria como oleoquímicas, farmacêuticas, de sabões e cosméticos.

Algumas plantas oleaginosas / matérias-primas para produção de biodiesel e sua ocorrência no Brasil por região:

Oleaginosa	Estado / Região
Palma (dendê), babaçu, soja e gordura animal.	Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins – região norte.
Babaçu, soja, mamona, palma (dendê), algodão, coco, gordura animal, óleo de	Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio

peixe.	Grande do Norte e Sergipe – região nordeste.
Soja, mamona, algodão, girassol, palma e gordura animal.	Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul – região centro-oeste.
Soja, mamona, algodão, girassol, gordura animal e óleo de peixe.	Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo – região sudeste.
Soja, colza (canola), girassol, algodão, gordura animal e óleo de peixe.	Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina – região sul.

Tabela 7: Produção de Oleaginosas nos Estados e Regiões brasileiras.

*Atlas do Biodiesel - Potencialidade brasileira para produção e consumo de combustíveis vegetais*  
*Biodiesel Atlas - Brazil's potential for production and consumption of vegetable fuel*



Figura 8: Potencialidade brasileira para produção e consumo de combustíveis vegetais

De modo significativo as experiências em terra Tupiniquim estão de certa forma tomando um lugar que a viabilidade, que é a proposta desse estudo, já é comprovada com fatos registrados e experiências em andamento.

Uma citação do livro de Expedito Parente intitulado “Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado” comprova essa aplicação prática:

“Um fato curioso e pitoresco que merece destaque foi a produção de diesel vegetal a partir de óleo de semente de maracujá, por encomenda da AGROLUSA – Agro-industrial Luiz Guimarães SA, que produzia grandes quantidades de suco desta fruta. Foi estabelecido um programa de produção de 1.000 litros por semana durante 6 meses. O biodiesel de maracujá movimentou a frota daquela empresa durante todo um semestre. Com o fim das experiências, foram identificados usos mais nobres para o óleo de maracujá, o qual foi sugerido o seu direcionamento para a indústria de cosméticos, cujos preços eram muito mais compensadores.”  
(PARENTE, 2003, p. 11).

Prova de que o Brasil já está experimentando o biodiesel foi o comunicado à imprensa feito pela Petrobras que a partir do dia 17 de maio de 2006 mais de 20 estados brasileiros teriam esse combustível nos postos de bandeira BR (ver anexo B). Graça Foster, presidente da Petrobras Distribuidora, em coletiva à imprensa afirmou que em curto prazo 500 postos da bandeira estão comercializando o biodiesel. A nova Petrobras intitulou-se empresa de Energia e não mais só de derivados do petróleo, gastando mais de R\$ 20 milhões para adaptar suas instalações para receber e comercializar o biodiesel.

A notícia veio em boa hora; a Petrobras anuncia a inauguração de uma planta de produção de biodiesel no pólo industrial de Guamaré, no Rio Grande do Norte, no dia 19 de maio de 2006 (ver anexo C). A empresa aposta – como nós – nesse combustível alternativo e se lança no mercado de extração e processamento do éster inaugurando algo que pode se tornar um forte aliado às reduções da poluição atmosférica.

## **11) BIODIESEL NO ESPÍRITO SANTO**

O Estado do Espírito Santo caracteriza-se por apresentar o seu quadro agrário com predominância de pequenas propriedades (90% menor que 100 hectares), utilizando mão-de-obra familiar, em sua maioria, possuindo baixo nível de renda e somando 73.288 estabelecimentos rurais. As atividades agropecuárias empregam diretamente mais de 350 mil pessoas, representando mais de 22% da população total.

O Estado do Espírito Santo, não é um produtor de oleaginosas do Brasil, no entanto se credencia com um perfil econômico altamente promissor na capacidade de produção dos biocombustíveis, em função da sua biodiversidade agro-climática e de unidades naturais, além de ter uma estrutura fundiária baseada na Agricultura Familiar. O Estado possui potencial uma das maiores diversificações em produtos agrícolas que também possibilitam a retirada de óleos vegetais para fabricação de Biodiesel, tal como a mamona, palmeiras oleaginosas, o milho e o girassol.

Essas plantas, com exceção do milho, ainda não foram produzidas em escala comercial, contudo oferecem importantes sinalizações para a produção alternativa de Biodiesel, bem como uma possível alternativa econômica bastante viável para a agricultura familiar capixaba, inclusive nos assentamentos.

Para o Estado, o Biodiesel é um programa com múltiplas potencialidades, podendo atender os mercados de transportes, de carga e de passageiros, frotas cativas, transporte ferroviário, mineração, geração de energia elétrica, pela utilização como substituto parcial ou total do diesel de petróleo. O interesse do Estado em fazer parte do esforço nacional para o uso do biodiesel surgiu em função dos seguintes pontos:

a) Urgência em estimular o crescimento da capacidade tecnológica local, tanto no que se refere ao fortalecimento da rede de laboratórios e equipamentos hoje disponíveis, quanto do aumento da capacitação técnica e acadêmica em vários níveis;

b) Vislumbra-se a possibilidade do emprego da tecnologia disponível e da tecnologia a ser aprimorada em ações de inclusão social, não só por intermédio do estímulo à produção familiar (ex.: mamona, palmáceas e milho), como também estímulo à manutenção do homem no campo (energia produzida em pequenas plantas regionais);

c) O clima predominante no Estado (quente nas áreas baixas e frio na região serrana) permite a especificidade dos testes a serem realizados, obtendo resultados de testes aplicados em diferentes condições climáticas, o que geralmente não se ocorre na maioria de outros estados, uma vez que testes em clima frio não podem ser diretamente aplicados à realidade do território nacional;

d) a posição geográfica peculiar do Estado do Espírito santo pode transformá-lo em importante pólo produtor e distribuidor de biodiesel.

A execução do Biodiesel Capixaba dotará o estado de competitividade técnico-econômica, de forma a inseri-lo no novo modelo da matriz energética nacional, potencializando ganhos ambientais e gerando novos negócios para agroindústria e agricultura familiar. A Implementação do Programa fortalece o compromisso do Estado com o desenvolvimento e uso de tecnologias limpas e economicamente sustentáveis. (ROCHA)

## **12) EMISSÕES**

O biodiesel é um combustível saudável, ecologicamente correto pois possui um baixo nível de poluentes, é biodegradável, não-tóxico e livre de compostos sulfurados e aromáticos que são os maiores responsáveis por causas de câncer.

Veja-se a tabela de reduções de óxidos, particulados, monóxido de carbono e hidrocarbonetos não queimados:

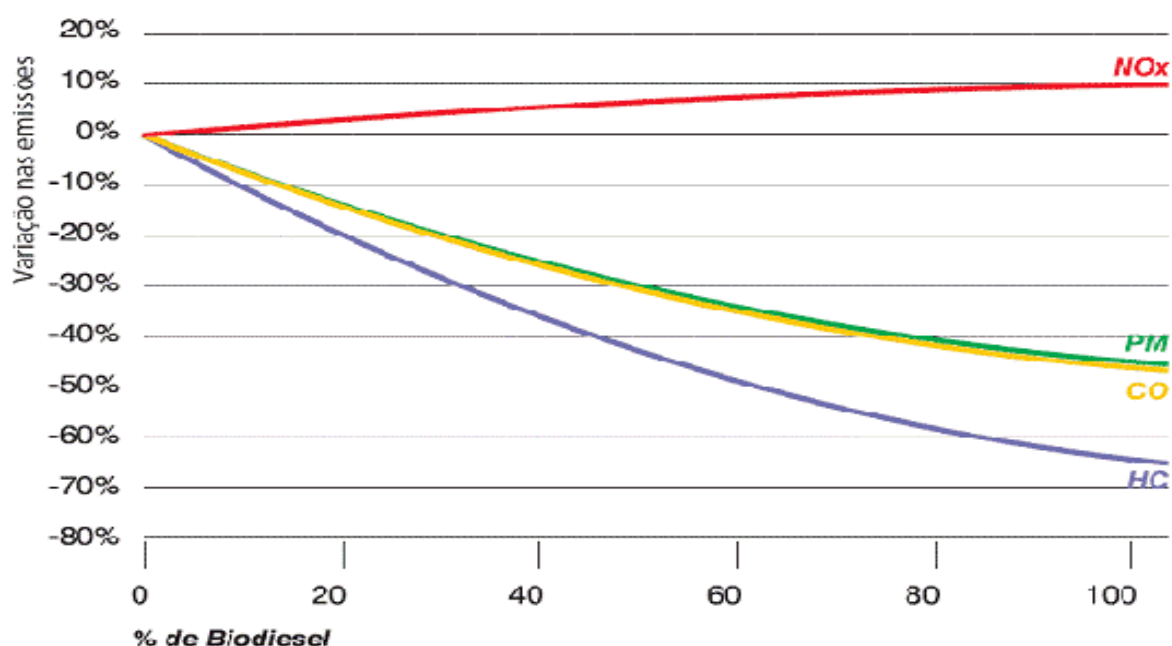


Gráfico 11: Variação das emissões de acordo com o percentual de biodiesel

Um estudo norte-americano divulgou resultados dos efeitos na saúde, e tem como título “A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions” ou *Uma Análise Compreensiva do Impacto do Biodiesel na Emissão de Exaustão*.

AVERAGE BIODIESEL EMISSIONS COMPARED TO CONVENTIONAL DIESEL, ACCORDING TO EPA		
Emission Type	B100	B20
<b>Regulated</b>		
Total Unburned Hydrocarbons	-67%	-20%
Carbon Monoxide	-48%	-12%
Particulate Matter	-47%	-12%
Nox	+10%	+2%
<b>Non-Regulated</b>		
Sulfates	-100%	-20%*
PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)**	-80%	-13%
nPAH (nitrated PAH's)**	-90%	-50%***
Ozone potential of speciated HC	-50%	-10%

\* Estimated from B100 result

\*\* Average reduction across all compounds measured

\*\*\* 2-nitrofluorine results were within test method variability

Tabela 8: Comparação entre concentrações diferentes de biodiesel e diesel comum

Alguns fatores importantes podem ser ressaltados:

Se comparado com o diesel comum, o biodiesel reduz 67% do total de hidrocarbonetos não-queimados (fator contribuinte para a destruição da camada de ozônio).

Os elementos particulados e o monóxido de carbono são reduzidos em mais de 45%, impactando diretamente na saúde respiratória.

Óxidos sulfúricos e sulfatos são praticamente extinguidos com o uso do biodiesel puro, componentes esses que ajudam a provocar a chuva ácida.

Óxidos nítricos ( $\text{NO}_x$ ) podem aumentar ou diminuir dependendo dos procedimentos do teste ou do tipo de óleo vegetal da queima. Em detrimento, algumas companhias desenvolveram aditivos para reduzir a emissão de  $\text{NO}_x$ .

A emissão de biodiesel mostra a redução de níveis de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) e hidrocarbonetos nitratos policíclicos aromáticos (nPAH), dos quais são identificados como componentes causadores de câncer em potencial. Nos testes de efeitos da saúde, os componentes PAH foram reduzidos em 75 a 85%.

OLIVEIRA, 2001 fez um estudo comparando as diferentes misturas do biodiesel ao petrodiesel utilizando grupos geradores de produtores rurais visando adequá-los as normas de poluição vigentes:

POLUENTE	REDUÇÃO/ AUMENTO	B100	B20	B10	B5
		PERCENTUAL (%)			
GASES DE EFEITO ESTUFA	R	78	15	7,5	3,75
ENXOFRE	R	98	19	9,5	4,95
MATERIAL PARTICULADO	R	50	10	5	2,5
$\text{NO}_x$	A	13*	2,5**	1,3**	0,65**

Fonte: OLIVEIRA, 2001.

\* USEPA

\*\* Caso o incremento seja linear.

Tabela 9: Tabela comparativa de diferentes misturas ao petrodiesel.

Notamos que há uma drástica redução nos gases nocivos à nossa atmosfera, principalmente nos causadores do efeito estufa e nas emissões de enxofre. A adição de 5% de biodiesel ao nosso diesel (B5) comercial não terá um efeito muito grande na redução da poluição, mas ao pensarmos em termos macro, ou seja, se somarmos todos os veículos, máquinas e equipamentos movidos a diesel no Brasil a redução já será significativa.

Notamos que, para todos os experimentos, há um aumento no número de NO<sub>x</sub> (óxidos nítricos) que são causadores de doenças respiratórias. Acreditamos que com mais estudos e com a aplicação de conversores catalíticos nos gases de escape esses números caíam a níveis aceitáveis.

“É sabido que o diesel mineral possui quantidades substantivas de enxofre sob a forma de mercaptanas, substâncias extremamente nocivas ao meio ambiente local, onde se inclui o homem. As mercaptanas compõem as emissões provenientes da descarga dos motores diesel, especialmente quando funcionam fora da faixa normal (partidas e desacelerações), e em quantidades excessivas, quando os sistemas não estão ajustados ou regulados. Sabe-se também que a queima do biodiesel juntamente com o diesel mineral favorece a oxidação das mercaptanas, transformando-as em dióxido de enxofre, mais volátil e menos danoso aos seres vivos. Necessário se faz medir comparativamente as emissões de mercaptanas, para demonstrar os efeitos positivos da adição de biodiesel ao diesel mineral.” (OLIVEIRA, p. 11, 12).

Abaixo temos um exemplo de ensaio de centrífuga (que é apenas um dos parâmetros determinados pela ANP) para determinar o teor de água e sedimentos no biodiesel.

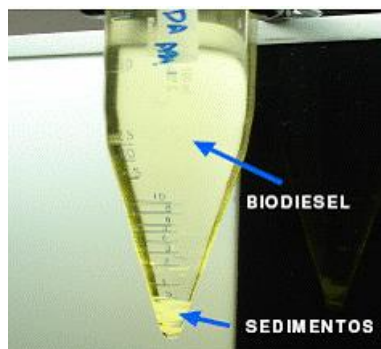


Figura 9: Tubo de centrífuga com biodiesel e fração de sedimentos



## 12) CONCLUSÃO

De fato, a viabilidade técnica tendo como pontos fortes o alto nível de redução de emissão de poluentes, principalmente de cadeias aromáticas – principal produto causador de câncer –, monóxido de carbono, particulados – prejudiciais à saúde respiratória humana –, sulfatos e nitratos – agressores do meio ambiente –, comprovam que o biodiesel além de um grande avanço tecnológico mostrou-se um ótimo combustível para motores ciclo diesel; grande vantagem para um País que tem uma enorme frota de carros e que tem como principal meio de transporte a via rodoviária. Ao longo da decorrência desse estudo foi implantada uma mistura de B2, ou seja, 2% de biodiesel no diesel comum, em postos espalhados por todo Brasil para provarmos o que no exterior já é realidade. Sua viabilidade econômica também foi aprovada, tendo em vista que o Brasil possui um vasto terreno físico e uma grande variedade de terrenos geológicos e climas diferenciados proporcionando o cultivo de vários tipos de matéria-prima. Resta só que a viabilidade sócio-política seja contemplada para mais um grande passo da nação que só tem a ganhar com o grande Biodiesel.

### 13) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DANTAS, Hérmesson Jales. Estudo Termoanalítico, Cinético e Reológico de Biodiesel Derivado do Óleo de Algodão (*Gossypium hisutum*), UFPB, 2006, Tese de Mestrado.

FERREIRA, Roseli Aparecida; SCABIO, Ardalla; OLIVEIRA, Vanessa Silva. Produção e Uso do Biodiesel Etílico na UEPG. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia de Alimentos, Ponta Grossa, Brasil. 2004

MONYEN, Abdul; The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. Dissertação de Doutorado, 1998.

OLIVEIRA, Luciano Bastos; COSTA, Ângela Oliveira da. Biodiesel Uma Experiência de Desenvolvimento Sustentável. COPPE, UFRJ.

PARENTE, Expedito José de Sá. Proposta de um óleo diesel alternativo. Tese do concurso para professor titular do Departamento de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, 1993.

PARENTE, Expedito José de Sá. Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado. Unigráfica 2003.

ROCHA, Márcio Adones Miranda, Apresentação IMCAPER – ES.

SIMPSON, Paulo Filho; SILVA, Cicera Henrique; RATTON, Cláudio Arruda. Biodiesel: Considerações sobre a estratégia energética nacional. Estudo.

SANTOS, Nataly A.; DANTAS, Hérmesson J.; CANDEIA, Roberlúcia A.; BEZERRA, Aline F.; FREITAS, Júlio C. O.; CARDOSO, Oldemar; SANTOS, José R. Júnior; SILVA, Carmem C.; CONCEIÇÃO, Marta M.; GONDIM, Amanda D.; FERNANDES, Valter J. Júnior; SOUZA, Antônio G.; Propriedades Físico-Químicas de Biodiesel de Mamona. Publicação 1º Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Sustentabilidade, 2004.

SILVA, Sudeño de Lima. USO DE BIODIESEL EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS. Santa Helena – PR. 2006.

WYALEN, Gordon J. Van; BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E..Fundamentos da Termodinâmica, 5ª edição, Editora Edgard Blücher LTDA. 1998.

Disponível em: <<http://www.biodiesel.org>>. Acesso em 29/03/2006

Disponível em: <<http://www.biodieselecooleo.com.br>>. Acesso em 11/04/2006

Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br>>. Acesso em 18/05/2006

Disponível em: <<http://www.eletrabus.com>>. Acesso em 11/07/2006

## Testes comprovam eficácia de "combustível ecológico" ao óleo diesel

# Biodiesel reduz emissão de poluentes

MANUEL ALVES FILHO

manuel@vetforia.unicamp.br

**T**este realizado para a dissertação de mestrado de André Vasantte Bueno, defendida junto à Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) da Unicamp, reiterou a eficácia da adição do biodiesel ao óleo diesel como medida de redução da emissão de poluentes por parte de veículos automotores. No ensaio, que reproduziu as condições de operação no trânsito, Bueno usou um motor convencional de placa instalada em uma bancada dinamométrica, abastecido com uma mistura contendo 20% do primeiro combustível e 80% do segundo. Os experimentos comprovaram que a utilização do biodiesel nessa proporção não comprometeu o funcionamento do motor.

De acordo com o autor da dissertação, a literatura registra vários estudos envolvendo a queima e a liberação de energia pelo biodiesel, realizados em países da Europa e Estados Unidos. Lá, entretanto, o combustível é produzido a partir de uma mistura do metanol com o óleo de canola ou de soja. No Brasil, explica Bueno, torna-se interessante a produção do biodiesel a partir do etanol (álcool etílico) e do óleo de soja. "Foi isso que serviu de inspiração para o nosso trabalho. Queríamos checar o desempenho quanto à queima do nosso biodiesel em um motor diesel moderno e de injeção direta, uma vez que há poucos dados disponíveis a este respeito", diz.

Ao longo dos ensaios, o autor da dissertação verificou que a mistura utilizada, denominada B20, reduz em até 3% a energia liberada pela queima do combustível em relação

quanto em baixa carga. Em condições de carga parcial, há um aumento dos mesmos 3% da energia liberada. Ou seja, a adição do "combustível ecológico" ao diesel causa um pequeno prejuízo na performance do motor nas duas primeiras situações, mas compensa na terceira. "De maneira geral, pode-se dizer que o uso do biodiesel não compromete o funcionamento do motor", afirma.

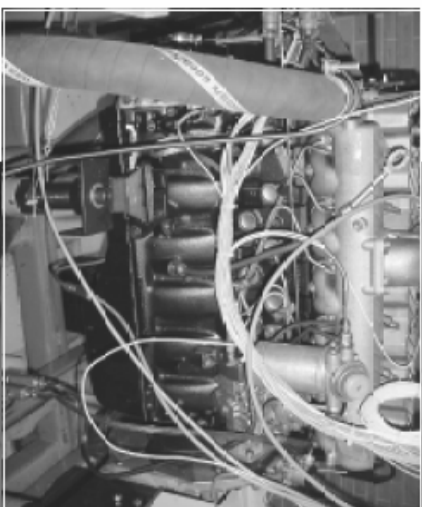
O maior ganho proporcionado pela adição do biodiesel, conforme Bueno, está na redução das emissões de poluentes produzidas pelos veículos. O seu uso como aditivo do diesel pode reduzir substancialmente a emissão de material particulado (fuligem) e de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sendo que o percentual de redução deste último depende da condição de operação e do motor.

**Combustível tem vantagem de ser renovável**

no qual a mistura é empregada. Além disso, o biodiesel é um combustível renovável, ao contrário do diesel, produzido a partir do petróleo.

A utilização do biodiesel, no entanto, não apresenta apenas vantagens. Nos testes realizados por Bueno, constatou-se que o produto amplia a geração de óxidos de nitrogênio, que também são gases poluentes. "E, por assim dizer, o preço que temos que pagar pelo uso do biodiesel. Mas esse problema pode ser corrigido de diversas maneiras. Uma delas é a instalação de catalisador no veículo. Uma outra estratégia, já empregada por algumas montadoras de veículos, é a recirculação dos gases de escape", esclarece.

O autor do trabalho conta que na Europa, mais especificamente na Alemanha, o biodiesel é vendido normalmente em postos de combustível. Lá, o motorista pode misturá-lo ao diesel



O pesquisador André Vasantte Bueno e o motor instalado em bancada de laboratório: sem compromisso com o desempenho

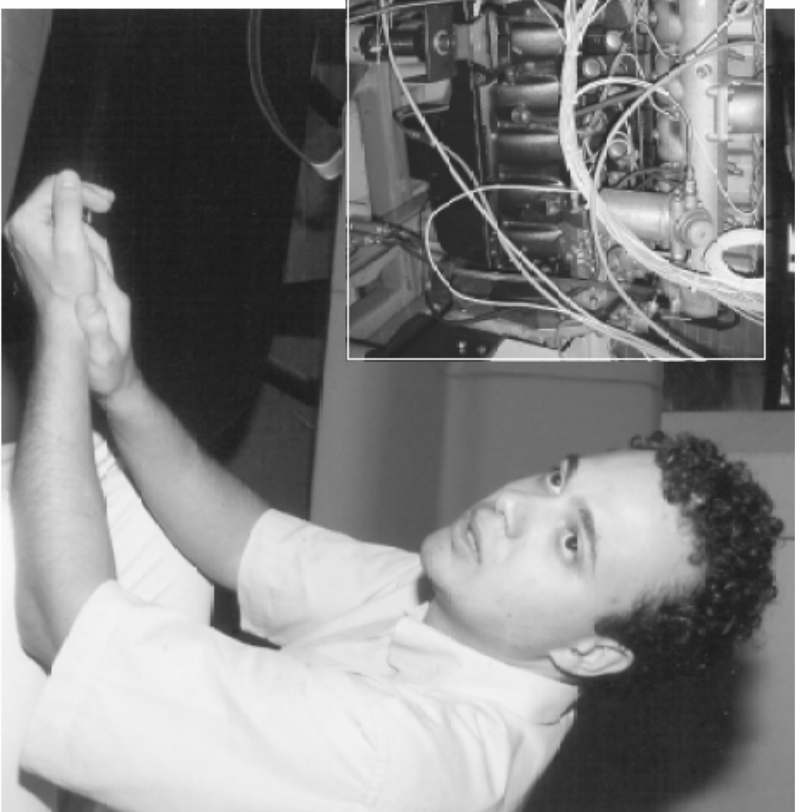



Foto: Arnanho Penn






na proporção que desejar. "Se o consumidor quiser, pode abastecer seu carro apenas com o biodiesel", diz. No Brasil, esse "combustível ecológico" ainda não é usado em larga escala. Para que isso aconteça, na opinião do pesquisador, o governo precisará adotar uma política energética que privilegie as fontes renováveis.

Nesse caso, segundo Bueno, o mais lógico é promover uma mistura pequena inicialmente, algo como a adição de apenas 0,25% de biodiesel ao diesel. Com o tempo, esse percentual poderia ser ampliado gradualmente. A dissertação de Bueno, que contou com financiamento da Fapesp e do CNPq, foi elaborada



por meio de intercâmbio entre a Unicamp e a Pontifícia Universidade Católica (PUC) do Paraná. Os testes foram realizados no laboratório da instituição paranaense. Os professores Luiz Fernando Milanez e José Antônio Velásquez foram, respectivamente, o orientador e o co-orientador do trabalho.



## ANEXO B

**PETRONET**  A intranet da sua área aqui!

Mais visitados  Lotus Notes  Web 881  Ouvidoria  Fale Conosco  SAP R/3

Serviços Públicos | Serviços Especializados | Sites Internos | Utilidades | Sites Internet | **Notícias**

**NOTÍCIAS**    

 [Ver outra Notícia](#)  [Imprimir](#)

**Petrobras Distribuidora oferecerá biodiesel em 500 postos**

A Petrobras Distribuidora pretende comercializar o biodiesel em 500 postos de serviços com sua bandeira, nos próximos meses. Desde o ano passado, esse combustível alternativo era vendido em três postos de Belém (PA) e esta semana começou a ser vendido em outros 22 postos de 12 estados (BA, CE, GO, MT, MS, MG, PR, PE, PI, RJ, RS e SP) e no Distrito Federal, anunciou a presidente da Petrobras Distribuidora, Graça Foster, em coletiva à imprensa no EDIHB, no dia 17 de maio. A curto prazo, o biodiesel estará disponível em mais 485 postos Petrobras em todo o Brasil.

Graça Foster informou que, para alavancar as operações comerciais com o produto, foi criada a Gerência Executiva de Biocombustíveis e Outros Negócios, ligada diretamente à presidência. A Petrobras Distribuidora está comprando mais de 90% do biodiesel adquirido pela Petrobras junto aos produtores, demonstrando o comprometimento da companhia com o projeto.

Nos últimos dois anos, a Petrobras Distribuidora investiu mais de R\$ 20 milhões para adaptar suas instalações para receber o produto. Até o fim do ano, 15 terminais e bases proporcionarão a logística necessária para garantir o atendimento e o preço adequados para cada região.


"A Petrobras Distribuidora, a única presente em todo o território nacional, tem papel fundamental no programa de biodiesel do Governo Federal, pois graças à sua estrutura de bases e terminais, reúne efetivas condições de distribuir o produto para todo o país, beneficiando o consumidor final. A distribuição e comercialização do biodiesel será, muito em breve, uma atividade de rotina para a companhia, assim como acontece com o álcool e os derivados de petróleo", garantiu a presidente Graça Foster.


O biodiesel é um combustível renovável, produzido a partir de óleos vegetais, ecologicamente correto e menos poluente, pois não contém enxofre. "Não há dúvida que, no mundo atual, as preocupações com o meio ambiente são cada vez maiores; a tendência, portanto, é a diversificação do nosso portfólio de negócios. Seria temerário não complementar nossas fontes de geração de receita com combustível alternativo, incluindo aí o biodiesel", explicou Graça Foster.

\*\*\*




**Comunicação Institucional**  
**17/5/2006**



## ANEXO C

**PETRONET**  A intranet da sua área aqui!

Mais visitados  Lotus Notes Web 881 Ouvidoria Fale Conosco SAP R/3


Serviços Públicos Serviços Especializados Sites Internos Utilidades Sites Internet Notícias

**NOTÍCIAS** Busca de Notícias Todas as seções   

 Ver outra Notícia  Imprimir

**Presidentes Lula e Gabrielli inauguram planta de biodiesel**

O presidente da República Luiz Inácio Lula da Silva e o presidente da Petrobras, José Sérgio Gabrielli de Azevedo inauguram, no dia 19, às 15h, no Pólo Industrial de Guamaré, Rio Grande do Norte, a Planta Piloto de Biodiesel da Petrobras. A solenidade será transmitida ao vivo pela Rede Corporativa de TV Petrobras e pela WebTV.



Ainda em Guamaré, a comitiva do presidente Lula, da qual também participam a governadora do Estado do Rio Grande do Norte, Wilma de Faria e o ministro das Minas e Energia, Silas Rondeau, visitará a Terceira Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN-III) e a Unidade de Querosene de Aviação (QAV). Também está prevista a visita a uma feira com produtos originários de assentamentos rurais beneficiados pelo Programa Petrobras Fome Zero, entre os quais o de Palheiros III.

\*\*\*  
Comunicação Institucional  
18/5/2006



Universidade Federal do Espírito Santo  
Centro Tecnológico  
Departamento de Engenharia Mecânica

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE  
DIESEL E BIODIESEL**



Rodolpho Coutinho Sala  
Ronaldo Gomes de Menezes Júnior

Vitória – ES  
Julho / 2006