

MISTURAS DE COMBUSTÍVEIS E SUA APLICAÇÃO NA GERAÇÃO DE ENERGIA

Roberto Guimarães Pereira¹, Gilberto Alves Romeiro², Jorge Luis de Oliveira¹, Jorge Fernandes Filho¹, Ithamar Ribeiro Rangel²

¹Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Mecânica e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,

Rua Passo da Pátria 156, Niterói, RJ, Brasil, CEP 24210-240,
tel.: (55)(21)2629-5579, fax: (55)(21)2717-4446, e.mail: temrobe@vm.uff.br

²Universidade Federal Fluminense, Departamento de Química Orgânica e Programa de Pós-Graduação em Química Orgânica, gilbertoromeiro@ig.com.br

³Instituto Militar de Engenharia, ita@epq.ime.eb.br

Resumo

A matriz energética mundial mostra uma movimentação acelerada no sentido de substituir parte dos combustíveis fósseis por combustíveis derivados de biomassas.

A demanda de óleo diesel, mais do que qualquer outro derivado, vem determinando a muito uma evasão de divisas através das importações do óleo cru e do próprio óleo diesel. Dentro deste panorama o óleo diesel torna-se um combustível crítico, pois qualquer impedimento às importações traria um reflexo imediato ao sistema de transporte do país, já que este sistema é baseado principalmente no transporte rodoviário. Esses aspectos associados que novas reservas mundiais de petróleo estão cada vez mais escassas, torna-se imperativo que pesquisas sejam realizadas com o objetivo de encontrar alternativas que venham minimizar ou até atingir um grau de completa independência, não só do óleo diesel, mas como de todos derivados do petróleo.

No entanto, se as poucas modificações nos tradicionais motores de ignição por centelha (motor a gasolina) viabilizaram a utilização do etanol. Primeiro como mistura e depois como substituto completo da gasolina, o mesmo não ocorre no caso do óleo diesel.

Dentre as várias alternativas para substituição parcial do óleo diesel, a utilização de misturas diesel-etanol anidro destaca-se como a de aplicação mais simples, já que existe grande disponibilidade de etanol e não é necessário qualquer alteração no motor original. O principal problema deste tipo de alternativa é a baixa solubilidade do etanol em óleo diesel, e a pouca estabilidade que essas misturas possuem com a variação de temperatura e umidade ambiente. Uma das soluções para aumentar a solubilidade e melhorar a estabilidade é utilizar uma terceira substância que, agindo como co-solvente, possibilite teores de misturas com o melhor nível de estabilidade e maiores percentuais de substituições. Dentre as várias alternativas de utilização de co-solventes, optou-se inicialmente pelo butanol.

Diversos parâmetros físico-químicos foram avaliados para o diesel e para as misturas de combustíveis.

Introdução

O mundo inteiro vive hoje um grande desafio, que é continuar seu desenvolvimento e atender as necessidades do homem, sem, contudo, degradar de forma irracional o ambiente. Tal desafio pode ter a solução resumida por duas palavras: *desenvolvimento sustentável*.

Particularmente o Brasil encontra-se em um desafio ainda maior; ou seja, tem que alcançar taxas significativas de crescimento para obtenção de pleno desenvolvimento. Sabe-se, entretanto, que para possibilitar tal desenvolvimento são necessários investimentos energéticos. Diante da situação em que se depara, dentre as opções oferecidas, sem dúvida, aquela de menor custo é conservar o que já dispõem.

A conservação de energia tem de ser prioridade nacional, principalmente por duas razões, que são:

- *Preservação do ambiente, e*
- *Desenvolvimento a baixo custo.*

Nesse trabalho tem-se por objetivo principal a avaliação físico-química de misturas álcool-diesel com diferentes percentuais, que possam, ainda que parcialmente, substituir o óleo diesel sem, no entanto, comprometer a durabilidade e a eficiência dos motores de ignição por compressão ou motores diesel como são popularmente chamados.

Sabe-se que a demanda de óleo diesel no Brasil é maior que a produção interna, fato que exige a importação de óleo cru, para após processamento se obter o óleo diesel, ou até mesmo a importação direta do óleo diesel, situação esta que gera evasão de divisas do país. Logo, faz-se necessária a realização de pesquisas com o objetivo de encontrar alternativas que venham, senão findar, ao menos minimizar a dependência do país em relação à importação de óleo cru ou mesmo do óleo diesel.

O Brasil tem condições de atenuar ou até mesmo fazer cessar essa evasão de divisas através da utilização de combustíveis alternativos, como por exemplo, o etanol, que pode ser utilizado para substituição parcial através de mistura com o óleo diesel.

A mistura de etanol no óleo diesel pode representar para o país uma grande economia de valores atualmente gastos com a importação de petróleo; importação essa necessária para satisfazer a demanda interna de óleo diesel.

Dentre as várias alternativas para a substituição parcial do óleo diesel, a utilização de misturas etanol anidro-diesel destaca-se como a de aplicação mais simples, uma vez que existe no país grande disponibilidade de etanol e não é necessária qualquer alteração no motor original. Além disto, o aumento de produção do etanol é possível e viável, uma vez que existe uma tradição tecnológica que vem se desenvolvendo desde da época do Brasil Colônia.

A mistura etanol-diesel apresenta pouca estabilidade com a variação de temperatura e umidade ambiente. Esse fato exige a utilização de uma terceira substância (co-solvente) que permita misturas estáveis com maiores percentuais de substituição. Dentre as alternativas disponíveis optou-se pela utilização do butanol como co-solvente.

Fundamentação

A real expectativa de esgotamento da produção de petróleo, que data dos anos 70 do século passado, se adia a cada ano por razão da descoberta de novo(s) poço(s) em vários países através da aplicação de novas tecnologias. Pleeth (1949) citou, nesta data, que as reservas de petróleo eram tidas como suficientes para vinte anos, expectativa que se vive ainda hoje.

A Petrobrás, empresa brasileira responsável pelo estudo e desenvolvimento de tecnologia(s) de localização, extração e refino é excelência mundial em extração em águas profundas, uma vez que no país a maior parte do número de poços se encontra no mar, ao longo da costa; hoje principalmente ao norte do Rio de Janeiro. Após anos de pesquisa a empresa conseguiu reduzir o volume de petróleo importado, tornando o país praticamente auto-suficiente desse produto para suprimento da demanda interna de gasolina; porém, não se pode dizer o mesmo do óleo diesel, cujo volume produzido ainda não é suficiente para suprir a demanda.

Sabe-se, no entanto, que o petróleo é um produto esgotável e por essa razão, a nível mundial, há procura de alternativas vinculadas à obtenção de energia por meio de fontes energéticas renováveis, com atenção especial à biomassa vegetal como solução em curto prazo capaz de fornecer combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

Potenciais fontes energéticas alternativas para substituição total ou parcial do diesel, são: biomassas, tais como cana de açúcar, madeira, palha ou casca de arroz, etc. e óleos vegetais provenientes de fontes diversas, por conta da biodiversidade do país que possui extensão continental.

Alternativas para a substituição parcial do óleo diesel pode ser a utilização de misturas deste com outros combustíveis, quais sejam:

- a) Gasolina básica;
- b) Óleos vegetais, e
- c) Etanol, objeto do presente trabalho.

Mistura gasolina básica-diesel

A gasolina básica, ainda que proveniente de fonte esgotável, é no país uma alternativa, visto que a produção é maior que a demanda. A mistura gasolina básica-diesel tem sua importância uma vez que pode mudar a estrutura de refino do petróleo no Brasil, onde a gasolina produzida e não consumida pode ser utilizada misturada ao diesel, desde que observada uma proporção que garanta as características exigidas pelo motor de ignição por compressão.

Embora essa mistura possa ter custo por quilômetro rodado maior que o do diesel puro, verificamos em análise mais profunda que esse custo é compensado por se utilizar matéria-prima nacional, ou seja, o excesso de gasolina produzida. Com essa mistura o volume total de petróleo importado poderia ser imediatamente reduzido; o que representa a real vantagem dessa alternativa (MERCEDES BENZ, 1978, p.14).

Mistura óleos vegetais-diesel

Os óleos vegetais obtidos no país de fontes diversas, tais como: mamona, amendoim, girassol, babaçú, soja, dendê e piqui, dentre outros, podem ser usados *in natura* ou sob forma de *biodiesel* em motores de ignição por compressão; sendo que o biodiesel foi definido nos Estados Unidos, de modo geral como derivado mono-álquil éster de ácidos graxos de cadeia longa proveniente de fontes renováveis como gordura animal ou óleos vegetais, cuja utilização está associada à substituição de combustíveis fósseis em motores de ciclo Diesel (COSTA NETO et al, 1999, p. 531-537). Os motores de ignição por compressão são utilizados em geradores diesel de energia elétrica e na maioria dos tratores e caminhões agrícolas, bem como de transporte de carga em geral. Dessa maneira, a utilização de óleos vegetais como combustível pode propiciar independência energética em fazendas e locais de difícil acesso do interior.

Mistura etanol-diesel

Em princípio o etanol não é miscível ao óleo diesel, porém, em pequenas quantidades (máx. de 4%) isto se torna possível, dependendo da temperatura ambiente (PLEETH, 1949, p.174, PENIDO FILHO, 1981, p. 264, SATGÉ DE CARO et al, 2001, 565-574). Para obtenção de mistura estável os autores citados fazem menção à necessidade de utilização de um terceiro elemento, chamado co-solvente.

A mistura etanol-diesel que não se apresenta em fase única é denominada emulsão, visto que nessa situação apresenta partículas micrométricas de etanol no óleo diesel, e pode ser aplicada a motor de ignição por compressão. A emulsão pode ser obtida através do uso de agitadores mecânicos instalados no tanque de alimentação de combustível ou de um dispositivo especial instalado na linha de alimentação do combustível, onde os dois combustíveis são introduzidos sob a forma de jato, misturando-se nesse instante. Embora a concepção seja simples, a implementação da mesma é um desafio já de longas datas.

Pode-se utilizar o etanol no motor de ignição por compressão através da introdução de um segundo sistema de alimentação, independente do sistema original de óleo diesel, mediante quatro processos: carburação, vaporização, injeção indireta e injeção direta.

Os três primeiros processos permitem, teoricamente, substituir aproximadamente até 60% do óleo diesel de forma eficiente, com características de desempenho bastante similares às do motor diesel original, sem exigências de modificações internas no motor. No entanto, em relação ao diesel puro, este percentual de mistura apresenta como desvantagem um maior consumo (PENIDO FILHO, 1981, p. 259).

O processo por injeção direta, que utiliza dois injetores de alta pressão permite, teoricamente, substituir até 90% do óleo diesel, mas exige modificações internas do motor, tais como: dimensionamento e instalação de sistema de injeção de etanol, instalação de segunda bomba injetora e redimensionamento do(s) bico(s) injetor(es), (POULTON, 1994).

Materiais e Métodos

Apresenta-se a seguir o desenvolvimento e metodologia aplicada, bem como breve descrição dos equipamentos utilizados na determinação das propriedades físico-químicas dos combustíveis utilizados.

Adota-se a seguinte nomenclatura:

- D – óleo diesel.
- AD10 – mistura álcool-diesel, sendo 90% de diesel, 7% de etanol anidro e 3% de butanol normal.
- AD15 – mistura de álcool-diesel, sendo 85% de diesel, 10% de etanol anidro e 5% de butanol normal.
- HD5 – mistura de álcool-diesel, sendo 95% de diesel e 5% de etanol hidratado.
- HD10 – mistura de álcool-diesel, sendo 90% de diesel e 10% de etanol hidratado.
- HD15 – mistura de álcool-diesel, sendo 85% de diesel e 15% de etanol hidratado.
- HD20 – mistura de álcool-diesel, sendo 80% de diesel e 20% de etanol hidratado..

Os diferentes ensaios e testes foram realizados nos Laboratórios de Termociências - LATERMO e de Reologia - LARE, da Universidade Federal Fluminense - UFF, de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e da American Society of Testing Materials (ASTM).

Os combustíveis utilizados no presente trabalho têm as seguintes origens:

- a) Óleo diesel e etanol hidratado - posto comercial varejista do Estado do Rio de Janeiro;
- b) Etanol anidro – refinaria de Manguinhos, e
- c) Butanol normal – Laboratório Merck / Lote 607100.

Caracterização físico-química

Aspecto

Essa característica é uma indicação visual da qualidade e de possível contaminação do produto. Segundo a ABNT o diesel, assim como o álcool e o butanol, devem apresentar-se límpidos e isentos de materiais em suspensão, que quando presentes podem reduzir a vida útil dos filtros dos motores.

Cor

É uma avaliação da cor característica do combustível. Alterações na mesma podem ser um indicativo de: problemas no processo produtivo, contaminação ou degradação do diesel, fatos que podem ocorrer quando o diesel é estocado por longos períodos ou quando exposto a temperaturas acima da ambiente.

O teste de cor para o diesel, de acordo com as normas NBR 14483 da ABNT e ASTM D 1500 é realizado por comparação da cor da amostra com discos coloridos com faixa de valores de 0,5 a 8,0 e subdivisão de 0,5. Nesse teste utiliza-se uma fonte de luz padrão que faz parte de uma aparelhagem específica para esta avaliação. No resultado do teste, a letra “L” colocada antes de um valor numérico significa que a cor do produto foi definida como sendo menor que a cor do padrão indicado e maior que o padrão imediatamente inferior.

Para o álcool (anidro, hidratado e butanol), devido suas características distintas do diesel o teste foi realizado de acordo com o padrão da American Public Health Association (APHA), mais indicado para o produto visto que apresenta maior escala de variação de cor.

Na determinação dessa propriedade utilizou-se colorímetro de marca *Precision Scientific Group*, de origem Norte-Americana.

Destilação

Destilação é um processo de evaporação e re-condensação por meio do qual os líquidos são separados em várias frações de acordo com seus pontos de ebulição ou variações de ebulição.

No presente estudo foi realizada a destilação simples para cada um dos produtos (diesel, etanol anidro e hidratado e cada uma das misturas, separadamente), de acordo com as normas NBR-9619 da ABNT e ASTM D 86/02.

Nesse processo, realizado em destilador de marca Elcar, modelo: EL-DE/001, cada produto (combustível puro ou cada uma das misturas) foi aquecido no balão de destilação, no interior do qual havia pequenos fragmentos de porcelana que devido a sua alta porosidade forneciam uma grande superfície de contato para as micro-bolhas que se formavam na solução, com o objetivo de controlar e evitar excesso de turbulência na ebulição. O balão, por sua vez, foi conectado à entrada do condensador através de um tubo capilar, chamado de *tubo de vapor*, e por cima fechado adequadamente, tendo acoplado o termômetro, este com o bulbo centrado no gargalo e a extremidade inferior do capilar nivelada com o ponto mais alto da parte inferior da parede interna do tubo de vapor.

Atentou-se, de acordo com norma da ABNT, para utilização do termômetro(s) adequado(s) de acordo com o produto a ser destilado.

Após preparação do equipamento, deu-se início ao aquecimento da amostra contida no balão até que esta chegou à ebulição, quando então o vapor foi forçado a passar pelo condensador, este composto de uma cuba metálica que abriga uma serpentina imersa em banho de água gelada (temperatura, de acordo com a norma NBR-9619 da ABNT, entre 0 e 4°C). Então, o vapor vindo do balão ao entrar em contato com as paredes frias da serpentina se condensa. O líquido proveniente do condensador é, então, recolhido em proveta graduada.

Através do termômetro acoplado por sobre o balão foram realizadas leituras, seguidas de registro das temperaturas em que se observou a primeira gota, denominada ponto de início de ebulição (PIE), e posteriormente a cada fração de 5 mL de condensado coletada na proveta, com interrupção do processo quando se observava decomposição térmica do líquido aquecido no balão, sendo que indicações características dessa decomposição são:

- a) Evolução de fumos, e
- b) Leituras de temperatura variadas, que normalmente diminuem após tentativas para ajustar o aquecimento.

O líquido recolhido na proveta é o chamado de *destilado* e o líquido remanescente no balão é o chamado de *resíduo* de destilação. A diferença entre o volume inicial e o volume *destilado* mais o *resíduo* é denominada de *perda*. Ponto final de ebulição (PFE) corresponde à temperatura em que se verifica a última gota, essa considerada para efeitos práticos quando o intervalo entre uma e outra é maior que dois minutos.

A temperatura de destilação de 50% do produto corresponde a temperatura na qual 50% do volume do produto destilado é recolhido na proveta, após passar pelo condensador. Essa análise visa controlar a relação entre o teor de frações leves e pesadas no produto com o objetivo, entre outros, de possibilitar um bom desempenho do motor quando este já se encontra em regime normal de funcionamento e nas retomadas de velocidade. O teste foi realizado destilando-se 100 mL de cada amostra e anotando-se a temperatura correspondente a destilação de 50% do produto.

A temperatura de destilação de 85% do produto corresponde a temperatura na qual 85% do volume do produto destilado é recolhido na proveta, após passar pelo condensador. Essa análise visa controlar o teor de frações pesadas no óleo com o objetivo de minimizar a formação de depósitos no motor, as emissões gasosas de hidrocarbonetos não queimados, fumaça e óxido de nitrogênio. O teste foi realizado destilando-se 100 mL de cada amostra e anotando-se a temperatura correspondente a destilação de 85% do produto.

Massa Específica

A verificação dessa propriedade foi realizada através de um densímetro, da marca *Precision*, com faixa de medição de 0,8 a 1 g/cm³ e subdivisão de 0,01 g/cm³, após procedimentos para adequação da temperatura da amostra contida em proveta de 1.000 mL às condições de medição, no caso resfriamento da mesma através de banho termostático até 20°C; sendo esta temperatura comprovada após agitação da amostra; onde, para o diesel e misturas utilizou-se termômetro com escala de -10 a 50°C e subdivisão de 0,5°C e, para o etanol, termômetro com escala de -10 a 40 °C e subdivisão de 0,5°C.

Uma vez estabilizada a temperatura da amostra em 20°C, o valor da densidade foi determinado após imersão suave do densímetro na amostra, seguida de leitura direta do valor, conforme método ASTM D 1298.

Ponto de Fulgor

Ponto de fulgor é, por definição, a menor temperatura corrigida para a pressão barométrica de 101,3 KPa na qual um produto de petróleo desprende vapores combustíveis em proporções suficientes para formar uma mistura inflamável com o ar, provocando um lampejo quando se aproxima uma pequena chama a sua superfície livre, sob condições específicas de ensaio. Considera-se atingido o ponto de fulgor quando uma chama aparece e propaga-se instantaneamente sobre a totalidade da superfície da amostra.

Relacionada a volatilidade e inflamabilidade do combustível essa propriedade é um indicativo dos cuidados a serem tomados durante o manuseio, transporte, armazenamento e utilização do mesmo.

A verificação dessa propriedade foi realizada de acordo com as normas NBR 7974 da ABNT e ASTM D 56/01 e ASTM D 93.

Para o óleo diesel e misturas o ensaio se deu em aparelho de vaso fechado tipo Pensky-Martens, da Elcar, modelo: EL-PM/090, composto por cuba de ensaio, tampa obturador, agitador, fonte de aquecimento, dispositivo de ignição (chama piloto), banho de ar e placa superior.

O teste consiste basicamente no aquecimento da(s) amostra(s) seguido de aplicação de uma chama piloto até que os vapores gerados se inflamem, o que é detectado por um lampejo que se apaga logo em seguida. A temperatura registrada no termômetro nesse instante correspondente a temperatura de ponto de fulgor.

Ponto de névoa

Ponto de névoa é definido como a menor temperatura em que se observa formação de turvação numa amostra do produto, o que indica o início da cristalização de parafinas e outras substâncias de comportamento semelhante presentes e que tendem a separar do diesel quando este é submetido a baixas temperaturas por meio de resfriamento contínuo.

O teste foi realizado em aparelho de fabricação da Elcar, modelo: EL-PN/114-4, que permite avaliação de até quatro amostras por ensaio. A aparelhagem é composta por: banho de resfriamento, recipiente de ensaio, camisa, anel espaçador, rolha e termômetros. A propriedade foi avaliada de acordo com as normas NBR 11346 da ABNT e ASTM D 2500/02.

O teste para determinação dessa propriedade foi realizado submetendo-se uma dada quantidade da amostra a resfriamento numa taxa específica, até o aparecimento, pela primeira vez, de uma área turva no fundo do tubo de teste.

Ponto de fluidez

Ponto de fluidez corresponde a menor temperatura na qual o óleo ainda tem capacidade de escoamento, quando após aquecimento preliminar, se necessário, a amostra é resfriada numa taxa específica e examinada a intervalos de 3°C quanto às características de escoamento, de acordo a norma NBR 11349 da ABNT e ASTM D 97.

O ensaio para verificação ou determinação dessa propriedade se deu em aparelhagem específica de fabricação da Elcar, modelo: EL-PN/114-4, que permite avaliação de até quatro amostras por ensaio. A aparelhagem é composta por: banho de resfriamento, recipiente de ensaio, camisa, anel espaçador, rolha e termômetros; com procedimento brevemente descrito a seguir.

Cada recipiente de ensaio após receber amostra até a linha de marcação de volume indicado para o teste foi tampado com rolha de cortiça no centro da qual se fixou um termômetro cujo bulbo ficava submerso na amostra. Em seguida os recipientes de ensaio foram introduzidos no banho de resfriamento com o anel espaçador para evitar o contato direto com as camisas. Utilizou-se gelo seco como refrigerante.

Após a amostra ter sido resfriada o suficiente para permitir a formação de cristais de parafina, atentou-se para não agitá-la e também não permitir que o termômetro se deslocasse no interior da massa, visto que qualquer perturbação da rede de cristais poderá conduzir a resultados falsamente baixos.

Iniciou-se a leitura do termômetro quando a temperatura estava aproximadamente 9°C acima do ponto de fluidez estimado, quando então a cada múltiplo de 3°C o recipiente era removido da camisa para averiguação da condição da amostra.

Viscosidade

Os ensaios para verificação da viscosidade dos produtos e misturas foram realizados em um viscosímetro Saybolt Universal, de marca Petrotest, com banho termostático acoplado, ambos modelo HD, de origem alemã.

O viscosímetro Saybolt Universal tem por princípio a medição do tempo, em segundos, do escoamento de 60 mL de amostra à determinada temperatura. Em essência, esse aparelho consiste de um tubo de 12,25 mm de comprimento e 1,77 mm de diâmetro, com orifício(s) padronizado(s), por onde escoam os 60 mL da amostra. Os ensaios foram realizados a 40°C.

Índice de cetano

Assim como o número de cetano, o índice de cetano (IC) está ligado à qualidade de ignição. O índice de cetano apresenta correlação com o número de cetano sendo, por sua praticidade, determinado nas refinarias como substituto do último.

Baixos valores de índice de cetano provocam dificuldade de partida a frio, depósito nos pistões e mau funcionamento do motor. Já alto índice de cetano facilita a partida a frio do motor, permite mais rápido aquecimento, impede a ocorrência de pós-ignição, reduz a possibilidade de erosão dos pistões, possibilita menor nível de ruído quando em funcionamento e minimiza a emissão de poluentes (hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado).

O índice de cetano (IC) é calculado a partir da densidade e da temperatura de destilação de 50% do produto em análise, por meio de fórmula presente na norma ASTM D 976A e mostrada na Equação 1.

$$IC = 454,74 - 1641,416D + 774,74D^2 - 0,554B + 97,803(\log B)^2 \quad (1)$$

sendo:

D – massa específica, em g/cm³, a 15 °C;

B – temperatura de destilação de 50% do produto, em °C.

Resíduo de carbono

O resíduo de carbono avalia a tendência de formação de depósitos dos gases de combustão.

O ensaio para verificação ou determinação dessa propriedade se fez segundo o método de Conradson, quando se utilizou balança de marca Geaka com precisão de 0,001, modelo: AG200 para pesagem de cadinho (com e sem amostra), forno mufla de marca Nova Técnica, modelo: NT380, para secagem do cadinho e equipamento próprio para determinação dessa propriedade, de fabricação da Elcar, composto de unidade de aquecimento por meio de resistências elétricas, dois cadinhos de tamanhos distintos, controle da taxa de aquecimento e chaminé.

Esse teste foi executado de acordo com a norma NBR 14318 da ABNT e brevemente descrito a seguir.

Colocou-se em torno de 1 (um) g de amostra, tomada dos 10% finais da destilação em cadinho de porcelana previamente calcinado, ou seja, aquecido a 800 °C em forno mufla, marca Nova técnica, modelo: NT 380, por 5 a 10 min e após esfriar em dessecador. Cabe destacar que o cadinho de porcelana foi levado à balança de precisão marca Gehaka, modelo: AG 200, tão logo saiu do dessecador, sendo este peso denominado de P1, logo em seguida promoveu-se a pesagem do cadinho com a amostra, denominado P2. Após queima da amostra ao ar livre o cadinho de porcelana foi

inserido no cadinho metálico menor e estes, por sua vez, no maior, ambos cobertos. O cadinho foi então colocado na unidade de aquecimento, após as resistências estarem rubras, onde o tempo de permanência foi de 10 minutos na temperatura de 60°C. Em seguida elevou-se a temperatura para 90°C, quando o tempo de permanência, observada a estabilização da temperatura, foi de 5 minutos.

Após esse procedimento o aparelho foi desligado e deixado resfriar até a temperatura ambiente. Retirou-se então o cadinho de porcelana que foi pesado logo em seguida, sendo este peso denominado P3. O percentual de resíduo de carbono foi calculado pela Equação 2.

$$RC(\%) = \frac{R}{A} \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

RC – Resíduo de carbono

R – Peso do resíduo (P3 - P1)

A – Peso da amostra (P2 - P1)

Altos valores de resíduos de carbono podem causar formação de depósitos na câmara de combustão e sistema de descarga, além de maior contaminação do óleo lubrificante por fuligem. Estes depósitos, além de provocar o desgaste dos cilindros e anéis do pistão por abrasão, alteram o fluxo normal de combustível e gases de combustão nos bicos injetores, válvulas de admissão e descarga.

Teor de cinzas

Corresponde ao teor de resíduos inorgânicos não combustíveis, determinado após a queima de uma amostra do produto.

Essa avaliação tem por objetivo garantir que sais ou óxidos metálicos formados após a combustão, que se apresentam como abrasivos não venham a causar depósitos em quantidade que prejudique os pistões, a câmara de combustão e outros componentes.

O ensaio, realizado de acordo com as normas NBR-9842 da ABNT e ASTM D 482, foi realizado queimando-se uma determinada quantidade de amostra, seguido da calcinação do resíduo com posterior quantificação do resíduo como percentagem de cinzas no óleo ou teor de cinzas.

Corrosão

A avaliação do caráter corrosivo do produto, dá uma indicação do potencial de corrosividade do diesel no que diz respeito às peças de cobre, ligas de cobre e outros metais. O caráter corrosivo do diesel é normalmente associado à presença de enxofre elementar e gás sulfídrico.

O teste foi realizado em um equipamento da Elcar, modelo: EL-BCO/095-4, através de imersão de lâmina de cobre, própria para o teste e devidamente preparada, em uma amostra de cada produto mantida a temperatura de 50°C, por período de 3 horas.

Decorrido esse período a lâmina foi retirada, lavada e sua coloração, então, comparada com lâminas padrão de acordo com a ASTM D 130.

Teor de Enxofre

O teste para determinação do teor de enxofre é feito queimando-se uma pequena quantidade de amostra em equipamento específico para este fim. Essa queima transforma o enxofre presente em óxidos que, após serem quantificados, fornecem a concentração de enxofre total no óleo.

Resultados

A seguir apresentam-se os resultados dos testes de caracterização físico-química dos produtos..

Aspecto, cor e enxofre

Os resultados obtidos após ensaios das características de aparência (aspecto e cor) e percentual de enxofre do óleo diesel e misturas encontram-se na TAB. 1.

TAB. 1 – Características de aparência e percentual de enxofre

Código da Amostra	Aspecto	Cor	Enxofre	Data
	Método: Visual	Método: ASTM D 1500	Método: ASTM D 4294 (%m/m)	
D	LII ¹	1,5	0,169	22/09/03
AD10	LII ¹	1,5	0,154	22/09/03
AD15	LII ¹	L1,5 ²	0,141	22/09/03
HD5	LII ¹	L1,5 ²	nd ⁴	22/09/03
HD10	LII ¹	(escuro) ³	nd ⁴	22/09/03
HD15	LII ¹	(escuro) ³	nd ⁴	22/09/03
HD20	LII ¹	(escuro) ³	nd ⁴	22/09/03

¹ LII - límpido e isento de impurezas.

² A letra “L” a frente do número significa que a cor do produto analisado encontra-se entre dois valores, sendo menor que a cor padrão apresentada e maior que a cor padrão imediatamente anterior.

³ Escuro, nesse caso, significa que não foi identificada cor correspondente no colorímetro.

⁴ nd – não determinado

Quanto ao aspecto, na TAB. 1 se observa que todos os produtos avaliados encontram-se de acordo com os limites de especificação da ANP, ou seja, por ocasião do ensaio apresentaram-se límpidos e isentos de impurezas. Sendo o aspecto uma indicação visual de possível contaminação e da qualidade pode-se dizer que os produtos avaliados não apresentam materiais em suspensão, que quando presentes podem reduzir a vida útil dos filtros dos motores.

A característica de cor, com ensaio realizado de acordo com as normas NBR 14483, da ABNT e ASTM D 1500 satisfaz os limites para as seguintes amostras: diesel, misturas etanol anidro-diesel (AD) e para mistura de até 5% de etanol hidratado-diesel. As demais misturas apresentaram aspecto leitoso e estão fora do limite de especificação uma vez que não foi possível definir cor no colorímetro.

Alterações na cor podem ser um indicativo de problemas no processo produtivo; contaminação ou degradação do diesel, fatos que podem ocorrer quando o diesel é estocado por longos períodos ou quando exposto a temperaturas acima da ambiente.

No que se refere ao enxofre total, avaliado de acordo com a norma ASTM D 4294, observa-se que todas as amostras avaliadas estão abaixo do limite máximo da ANP que é de 0,2%. Vale destacar que, como se vê na TAB. 1, esse valor se reduz com o aumento do percentual de etanol.

Massa específica

A massa específica ou densidade, determinada em 27 de julho de 2003, de acordo com as normas NBR 14065 da ABNT e ASTM D 4052/02 apresentou os resultados listados na TAB. 2.

Deve-se ficar atento a essa propriedade visto que valores abaixo da densidade adequada reduzem o desempenho dos motores devido à formação de uma pobre mistura ar-combustível, o que leva a uma perda de potência do motor e conseqüentemente a um aumento do consumo de combustível, enquanto valores acima da densidade adequada causam um enriquecimento da mistura ar/combustível, o que aumenta a emissão de poluentes, tais como: hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado.

TAB. 2 – Massa específica a 15°C e 20°C

Amostra	Massa específica (g/cm ³)	
	a 20°C	a 15°C
D	0,8490	0,8523
AD10	0,8442	0,8475
AD15	0,8400	0,8433
HD5	0,8451	0,8484
HD10	0,8463	0,8496
HD15	0,8465	0,8498
HD20	0,8471	0,8504

Pela Tabela 2, observa-se que os valores de massa específica verificados para as amostras analisadas se encontram dentro da faixa de especificação da ANP, que vai de 0,820 a 0,865 (g/cm³). Portanto, com relação a essa propriedade as misturas de etanol-diesel, tanto o etanol anidro quanto o hidratado, podem, aparentemente, ser utilizados sob forma de misturas em motor de combustão interna por compressão.

Ponto de fulgor

A Tabela 3 apresenta os resultados para o Ponto de Fulgor das diversas misturas.

TAB. 3 – Ponto de fulgor

Amostra	Ponto de fulgor (°C)	Data
D	69,0	26/06 e 23/09
AD10	28,0	23/09/03
AD15	28,0	23/09/03
HD5	14,5	26/06/03
HD10	12,0	27/06/03
HD15	13,5	27/06/03
HD20	14,0	27/06/03

A Agência Nacional do Petróleo – ANP especifica para o óleo diesel ponto de fulgor mínimo igual a trinta e oito graus *Celsius*.

Pela Tabela 3, observa-se que todas as misturas apresentam valor de ponto de fulgor abaixo do mínimo especificado pela ANP.

O valor de ponto de fulgor abaixo do mínimo especificado pela ANP representa a necessidade de cuidados especiais na manipulação e armazenagem das misturas, uma vez que ponto de fulgor é, por definição, a temperatura corrigida para a pressão barométrica de 760 mmHg, na qual a amostra potencialmente gera vapores inflamáveis.

Destilação

Pode-se observar pelas Tabelas 4 a 6 que o acréscimo de etanol anidro faz baixar a temperatura de destilação, ou seja, reduz o ponto de ebulição do diesel, dessa forma colaborando na redução de formação de depósitos de sólidos de combustão. Este fato se verifica tanto na temperatura de destilação de 50% do volume em análise, quanto na temperatura de 85% desse mesmo volume.

No entanto, as temperaturas não são muito menores ou mais baixas que as do combustível original, o que representa, no que diz respeito a essa propriedade, compatibilidade das misturas para utilização em motor de combustão por compressão.

O etanol hidratado apresentou temperaturas de destilação tanto de 50% quanto de 85% do volume destilado bem próximas das respectivas temperaturas do óleo diesel. Dessa forma, quanto a essa propriedade, a mistura mostrou-se própria para utilização em motor de combustão por compressão.

Pelas Tabelas 4 a 10, observa-se que as misturas de etanol, tanto anidro quanto hidratado, encontram-se dentro dos limites de especificação da ANP, que são:

- temperatura para 50% recuperado, de 245 a 310 °C, e
- temperatura máxima para 85% recuperado, igual a 360 °C.

TAB. 4 – Destilação do Diesel (D) - Método ASTM D 86/02

	Temperatura (°C)
PIE ¹	178,0
5%	201,5
10%	209,5
15%	217,5
20%	225,0
30%	240,0
40%	254,0
50%	270,0
60%	285,0
70%	303,0
80%	325,0
85%	338,0
90%	355,0
95%	368,0
PFE ¹	368,0
Recuperado %	96,0
Resíduo %	3,4
Perda %	0,6

Volume de amostra: 100 mL	Proveta 100 mL
Temperatura ambiente: 22,0 °C	Termômetro: 7C
Pressão barométrica: 764,5 mmHg	Data: 19/09/2003

Obs: 1 - PIE e PFE correspondem, respectivamente, a ponto inicial e ponto final de ebulição.

TAB. 5 – Destilação do Etanol anidro-Diesel (AD10) - Método ASTM D 86/02

	Temperatura (°C)
PIE ¹	81
5%	104,0
10%	137,0
15%	202,5
20%	213,0
30%	230,0
40%	248,0
50%	264,0
60%	280,0
70%	297,5
80%	320,0
85%	330,5
90%	349,0
95%	370,0
PFE ¹	370,0
Recuperado %	96,0
Resíduo %	3,3
Perda %	0,7

$$\text{AD10} = (90\% \text{ D} + 7\% \text{ EA} + 3\% \text{ B})$$

Obs.: D – diesel; EA –etanol anidro; B – butanol normal

Volume de amostra: 100 mL	Proveta 100 mL
Temperatura ambiente: 22,0 °C	Termômetro: 7C
Pressão barométrica: 764,5 mmHg	Data: 19/09/2003

Obs: 1 - PIE e PFE correspondem, respectivamente, a ponto inicial e ponto final de ebulição.

TAB. 6 – Destilação do Etanol anidro-Diesel (AD15) - Método ASTM D 86/02

	Temperatura (°C)
PIE ¹	80,0
5%	89,0
10%	92,5
15%	104,0
20%	181,0
30%	218,5
40%	237,0
50%	257,5
60%	274,0
70%	293,5
80%	316,0
85%	330,0
90%	347,0
95%	370,0
PFE ¹	370,0
Recuperado %	96,0
Resíduo %	3,6
Perda %	0,4

AD15 = (85% D + 10% EA + 5% B)

Obs.: D – diesel; EA –etanol anidro; B – butanol normal

Volume de amostra: 100 mL	Proveta 100 mL
Temperatura ambiente: 21,5 °C	Termômetro: 8C - 7C
Pressão barométrica: 763,5 mmHg	Data: 19/09/2003

Obs: 1 - PIE e PFE correspondem, respectivamente, a ponto inicial e ponto final de ebulição.

TAB. 7 – Destilação do Etanol hidratado-Diesel (HD-5) - Método ASTM D 86/02

	Temperatura (°C)
PIE ¹	77,0
5%	77,0
10%	196,5
15%	212,0
20%	226,5
30%	237,0
40%	263,5
50%	271,5
60%	290,0
70%	305,50
80%	330,5
85%	341,0

90%	349,5
95%	349,5
PFE ¹	349,5
Recuperado %	95,5
Resíduo %	3,8
Perda %	0,7

$$\text{HD5} = (95\% \text{ D} + 5\% \text{ EH})$$

Obs.: D – diesel; EH –etanol hidratado

Volume de amostra: 100 mL	Proveta 100 mL
Temperatura ambiente: 21,5 °C	Termômetro: 8C - 7C
Pressão barométrica: 764,5 mmHg	Data: 04/06/2003

Obs: 1 - PIE e PFE correspondem, respectivamente, a ponto inicial e ponto final de ebulição.

TAB. 8 – Destilação do Etanol hidratado-Diesel (HD-10) - Método ASTM D 86/02

	Temperatura (°C)
PIE ¹	76,0
5%	78,0
10%	78,0
15%	185,5
20%	205,5
30%	230,5
40%	256,5
50%	276,0
60%	283,5
70%	302,0
80%	324,0
85%	330,5
90%	333,5
95%	333,5
PFE ¹	333,5
Recuperado %	94,5
Resíduo %	4,9
Perda %	0,6

$$\text{HD10} = (90\% \text{ D} + 10\% \text{ EH})$$

Obs.: D – diesel; EH –etanol hidratado

Volume de amostra: 100 mL	Proveta 100 mL
Temperatura ambiente: 22,0 °C	Termômetro: 7C
Pressão barométrica: 764,5 mmHg	Data: 04/06/2003

Obs: 1 - PIE e PFE correspondem, respectivamente, a ponto inicial e ponto final de ebulição.

TAB. 9 – Destilação do Etanol hidratado-Diesel (HD-15) - Método ASTM D 86/02

	Temperatura (°C)
PIE ¹	77,0
5%	78,0
10%	78,0
15%	78,0
20%	196
30%	226,0
40%	253,5
50%	269,0
60%	287,5
70%	295,0
80%	324,0
85%	338,0
90%	352,0
95%	352,0
PFE ¹	352,0
Recuperado %	95,5
Resíduo %	3,9
Perda %	0,6

$$\text{HD15} = (85\% \text{ D} + 15\% \text{ EH})$$

Obs.: D – diesel; EH –etanol hidratado

Volume de amostra: 100 mL	Proveta 100 mL
Temperatura ambiente: 21,5 °C	Termômetro: 8C - 7C
Pressão barométrica: 763,5 mmHg	Data: 05/06/2003

Obs: 1 - PIE e PFE correspondem, respectivamente, a ponto inicial e ponto final de ebulição.

TAB. 10 – Destilação do Etanol hidratado-Diesel (HD-20) - Método ASTM D 86/02

	Temperatura (°C)
PIE ¹	76,0
5%	78,0
10%	78,0
15%	78,0
20%	78,0
30%	217,0
40%	244,0
50%	269,0
60%	285,0
70%	303,0

80%	320,0
85%	329,0
90%	335,0
95%	335,0
PFE ¹	335,0
Recuperado %	96,5
Resíduo %	2,7
Perda %	0,8

$$\text{HD5} = (80\% \text{ D} + 20\% \text{ EH})$$

Obs.: D – diesel; EH –etanol hidratado

Volume de amostra: 100 mL	Proveta 100 mL
Temperatura ambiente: 21,5 °C	Termômetro: 7C
Pressão barométrica: 763,5 mmHg	Data: 05/06/2003

Obs: 1 - PIE e PFE correspondem, respectivamente, a ponto inicial e ponto final de ebulição.

Ponto de névoa

Ponto de névoa corresponde a temperatura em que a parafina ou outras substâncias começam a se cristalizar ou separar da solução quando o óleo é resfriado sob condições específicas de ensaio. O ensaio para determinação dessa propriedade foi realizado de acordo com a norma ASTM D 2500/02 e apresentou os resultados mostrados na TAB. 11.

TAB. 11 – Ponto de névoa

Amostra	Ponto de névoa (°C)	Data
D	-2,0	26/09/03
AD10	0,0	26/09/03
AD15	9,0	26/09/03
HD5	5,0	16/07/03
HD10	4,0	16/07/03
HD15	4,0	16/07/03
HD20	3,0	16/07/03

Pelos resultados observados na TAB. 11, verifica-se que o aumento do percentual de etanol eleva o ponto de névoa, dessa forma exigindo cuidados na utilização de misturas principalmente em locais de baixa temperatura.

Ponto de fluidez

Na Tabela 12 têm-se os resultados dos ensaios realizados.

TAB. 12 – Ponto de fluidez

Amostra	Ponto de fluidez observado (°C)	Data
D	-15,0	30/09/03
AD10	-18,0	30/09/03
AD15	-27,0	30/09/03
HD5	*	16/07/03
HD10	*	16/07/03
HD15	*	16/07/03
HD20	*	16/07/03

* Obs.: As misturas etanol hidratado-diesel apresentaram separação de fase, não permitindo avaliação confiável da propriedade em discussão.

Tal como o ponto de névoa, o ponto de fluidez é de grande importância quando o combustível, no caso mistura etanol-diesel, é utilizado em locais de baixa temperatura, uma vez que podem provocar dificuldade de partida a frio ou até chegar a entupir filtros. Esse problema pode ser solucionado por meio de aditivos utilizados para melhorar essa propriedade.

Viscosidade

Os ensaios foram realizados a 40°C e os resultados encontram-se na TAB 13.

TAB. 13 – Viscosidade cinemática

Amostra	Viscosidade (mm²/s)	Data
D	3,267	26/09/03
AD10	2,848	26/09/03
AD15	2,578	26/09/03
HD5	nd	_____
HD10	nd	_____
HD15	nd	_____
HD20	nd	_____

Obs.: nd – não determinado

A viscosidade do diesel diminui com o aumento do percentual de etanol, no entanto, pela TAB. 13, se vê que as misturas etanol anidro-diesel apresentaram valores dentro da faixa de especificação da ANP, que vai de 2,5 mm²/s a 5,5 mm²/s.

Índice de cetano

O índice de cetano (IC), mostrado na Tabela 14, é calculado a partir da massa específica e da temperatura de destilação de 50% do produto em análise, por meio da Equação 1.

TAB. 14 – Índice de cetano

Amostra	D	B	Índice de Cetano
D	0,8523	270	47,13
AD10	0,8475	264	47,38
AD15	0,8433	257,5	47,26
HD5	nd	_____	_____
HD10	nd	_____	_____
HD15	nd	_____	_____
HD20	nd	_____	_____

D – massa específica, em g/cm³, a 15 °C;

B – temperatura de destilação de 50% do produto, em °C.

Obs.: nd – não determinado

Os resultados de índice de cetano apresentados na TAB. 14 encontram-se bem próximos da especificação da norma ASTM D 976, na qual essa propriedade tem valor mínimo de 48. Dessa forma, a princípio as misturas podem ser utilizadas, no entanto, deve-se adicionar aditivo para elevar o índice de cetano, visto que baixos valores dessa propriedade provocam dificuldade de partida a frio, depósito nos pistões e mau funcionamento do motor. Já alto índice de cetano facilita a partida a frio do motor, permite mais rápido aquecimento, impede a ocorrência de pós-ignição, reduz a possibilidade de erosão dos pistões, possibilita menor nível de ruído quando em funcionamento e minimiza a emissão de poluentes (hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado).

Resíduo de carbono

Os ensaios de resíduos de carbono avaliam a tendência de formação de depósitos provenientes dos gases de combustão.

Os resultados obtidos encontram-se nas TAB. 15.

TAB. 15 – Resíduos de carbono

	DIESEL	AD10	AD15	HD5	HD10	HD15	HD20
Cápsula vazia (g)	16,1611	nd	nd	20,7659	16,1607	20,7668	16,1613
Cápsula + amostra (g)	17,2616	nd	nd	22,0556	17,1628	22,4783	17,8660
Massa da amostra (g)	1,1011	nd	nd	1,2897	1,0021	1,7115	1,7047
Cápsula + resíduos (g)	16,1616	nd	nd	20,7688	16,1615	20,7684	16,1628
Resíduos obtidos (g)	0,0005	nd	nd	0,0029	0,0008	0,0016	0,0015
%Carbono (%massa)	0,0005	nd	nd	0,2249	0,0798	0,0934	0,0469

Obs.: nd – não determinado

O valor máximo percentual por massa, de acordo com a ANP é de 0,25, logo pela TAB. 15 se vê que todas as amostras avaliadas apresentam resíduo de carbono (%massa) abaixo desse valor, apresentando-se, portanto, quanto a essa propriedade, adequados à utilização em motor de combustão de compressão.

Altos valores de resíduos de carbono podem causar formação de depósitos na câmara de combustão e sistema de descarga, além de maior contaminação do óleo lubrificante por fuligem. Estes depósitos, além de provocar o desgaste dos cilindros e anéis do pistão por abrasão, alteram o fluxo normal de combustível e gases de combustão nos bicos injetores, válvulas de admissão e descarga.

Teor de cinzas

O teor de cinzas que também indica a tendência de formação de depósitos oriundos dos gases de combustão foi avaliado segundo as normas NBR 9842 da ABNT e ASTM D 482/03 e têm os valores apresentados a TAB. 16.

Segundo a ANP o valor máximo para essa propriedade é 0,020 (%massa).

TAB. 16 – Teor de cinzas

	DIESEL	AD10	AD15	HD5	HD10	HD15	HD20
Cápsula vazia (g)	61,4636	59,3905	57,9039	nd	nd	nd	nd
Cápsula + amostra (g)	161,2943	159,1313	137,7994	nd	nd	nd	nd
Massa da amostra (g)	99,8307	99,7408	99,8955	nd	nd	nd	nd
Cápsula + cinzas (g)	61,4640	59,3914	57,9046	nd	nd	nd	nd
Cinzas obtido (g)	0,0004	0,0009	0,0007	nd	nd	nd	nd
Teor de cinzas (%massa)	0,0004	0,0009	0,0007	nd	nd	nd	nd

Obs.: nd – não determinado

Calculado de maneira análoga ao resíduo de carbono, o teor de cinzas também diz respeito à formação de depósitos no motor, mas como se vê na TAB. 16 os valores determinados encontram-se abaixo desse limite dessa forma não representando risco ao motor.

Corrosão

O teste para avaliação do potencial de corrosividade da(s) amostra(s), este normalmente associado à presença de enxofre elementar e gás sulfídrico, foi realizado de acordo a norma NBR 14359, da ABNT e ASTM D130/94 (re-aprovada em 2000) e apresentou os resultados mostrados na TAB. 17.

Depois de retirada da amostra a lâmina foi lavada e teve sua coloração comparada com lâminas padrão de acordo com a norma da ASTM e não apresentou alteração na sua cor original, onde se quer dizer que a placa apresentou cor alaranjada clara parecida com a cor que apresentava tão logo foi polida antes do início do ensaio.

TAB. 17 – Corrosividade ao cobre

Amostra	Classificação ASTM
D	1a
AD10	1a
AD15	1a
HD5	1a
HD10	1a
HD15	1a
HD20	1a

Conclusões

Por meio dos resultados obtidos nas propriedades avaliadas pode-se concluir que a mistura etanol-diesel pode potencialmente ser utilizada em motores de ignição por compressão.

A utilização de mistura etanol-diesel proporciona a redução do volume de diesel utilizado em motores, com reflexos imediatos na economia do país, uma vez que, dependendo do volume de diesel a ser substituído, o país tem a possibilidade de reduzir a importação de petróleo para esse fim.

Tendo apresentado características bem próximas do combustível original, o diesel, a utilização de mistura etanol-diesel exige alguns cuidados e a utilização de aditivos para não alterar ao menos melhorar algumas propriedades que se encontram fora dos limites de especificação da Agência Nacional de Petróleo - ANP.

Dentre as várias alternativas para a substituição parcial do óleo diesel, a utilização de misturas etanol anidro-diesel destaca-se como a de aplicação mais simples, uma vez que existe no país grande disponibilidade de etanol, além de não se fazer necessária qualquer alteração no motor original. Além disto, o aumento de produção do etanol é possível e viável, uma vez que existe uma tradição tecnológica que vem se desenvolvendo desde da época do Brasil Colônia.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ e à LIGHT pelo apoio financeiro prestado.

Referências Bibliográficas

- COSTA NETO, Pedro R., ROSSI, Luciano F. S., ZAGONEL, Giuliano F. e RAMOS, Luiz P. **Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através de transesterificação do óleo de soja usado em frituras.** Curitiba - PR, 1999. p. 531-537.
- MERCEDEZ BENZ DO BRASIL S.A., JESSEN, Werner. **Aproveitamento de combustíveis não derivados de petróleo.** Brasília, 1978. p. 14.
- PENIDO FILHO, Paulo. **O álcool combustível: obtenção e aplicação nos motores.** 1ª Edição. São Paulo: Livraria Nobel, 1981. p. 11-13, 17, 18, 21, 52, 57, 69, 71-84, 121, 259, 260-267.
- PLEETH, S. J. W. **ALCOHOL - A Fuel for Internal Combustion Engine.** 1ª Edição. Londres: Editora Chapman Hall Ltda, 1949. p. 11, 12,13, 174.
- POULTON, M. L. **Alternative fuels for road vehicles.** Southampton, UK and Boston, USA: Computational Mechanics Publications, 1994. 213 p. ISBN 1-85312-301-3 (Southampton), ISBN 1-56252-225-6 (Boston).
- SATGÉ DE CARO, P., MOULOOUNGUI, Z., VAITILINGON, G. and BERGE, J. Ch. **Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines.** ELSEVIER, FUEL (80) 2001. p.565-574

Currículo Resumido dos Autores

Roberto Guimarães Pereira:

Formação: Engenheiro Mecânico, Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica, Doutor em Ciências em Engenharia Mecânica.

Atuação Profissional: Professor Adjunto 4 no Departamento de Engenharia Mecânica e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, na Universidade Federal Fluminense

Linhas de Pesquisa: Energia e Reologia

Gilberto Alves Romeiro

Formação: Mestre em Química e Doutor em Química

Atuação Profissional: Professor Adjunto 4 no Instituto de Química e no Programa de Pós-Graduação em Química Orgânica, na Universidade Federal Fluminense

Linhas de Pesquisa: Síntese Orgânica e Química Ambiental

Jorge Luis de Oliveira

Formação: Engenheiro, Mestrando em Engenharia Mecânica

Atuação Profissional: Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, na Universidade Federal Fluminense

Jorge Fernandes Filho

Formação: Químico e Biólogo.

Atuação Profissional: Controle de Qualidade e Gerência Laboratorial, Colaborador em Projetos de Pesquisa no Departamento de Engenharia Mecânica e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, na Universidade Federal Fluminense

Ithamar Ribeiro Rangel

Formação: Engenheiro Mecânico, Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica

Atuação Profissional: IME - Instituto Militar de Engenharia