

Uso de Óleos Vegetais como Combustível em Motores de Ignição por Compressão

Ricardo Gomes

*Aluno, Departamento de Engenharia Electrotécnica (DEE) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Instituto Politécnico do Porto (IPP)
1020405@isep.ipp.pt*

Resumo

O uso de óleos vegetais em motores de ignição por compressão, assim como o conhecimento dos seus benefícios em termos de redução impactos ambientais, não é um acontecimento recente, tendo diversas instituições e empresas provado ser possível o seu uso de forma eficiente e segura, mediante determinadas condições. Este facto levou a que organismos estatais de diversos países reconhecessem o seu potencial.

Com este trabalho pretende-se analisar e tirar conclusões sobre o uso de óleos vegetais, puros ou diluídos em gasóleo, em motores de ignição por compressão, assim como apurar os principais problemas associados ao seu uso e possíveis soluções para estes.

Por forma a atingir os objectivos propostos diversas questões relacionadas com o uso de óleos vegetais em motores de ignição por compressão são apresentadas, sendo realizadas algumas observações com vista ao seu uso seguro e eficiente em motores de ignição por compressão de injeção de combustível indirecta e directa. Concluiu-se que diluições de óleos vegetais em gasóleo, em proporção inferior a 20% do volume de combustível, podem ser usadas com alterações mínimas do circuito de alimentação de combustível; diluições com maiores volumes de óleos vegetais, ou uso a 100%, só se tornam seguras e eficientes após a alteração do circuito de alimentação de combustível, sendo que, o aquecimento se apresenta como a solução mais imediata.

1. Introdução

O motor de ignição por compressão (IC) data da última década do século XVIII, tendo sido criado por Rudolf Diesel (1858-1913). Mais tarde, acabaria por herdar a designação de motor “Diesel”, tal como aquele que viria a tornar-se o seu principal combustível, o “diesel” [1] (trad. (PT) *gasóleo*). Foi apresentado como sendo capaz de operar com diversos tipos de combustíveis, tais como, óleos vegetais, animais, minerais ou poeira de carvão, desde que estes possuíssem algumas características fundamentais que garantissem o seu uso segundo o princípio de funcionamento do motor – a auto-ignição por compressão [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Nessa altura, devido ao baixo preço do petróleo, o gasóleo (um dos primeiros

produtos resultantes da destilação do petróleo) sobrepôs-se aos restantes combustíveis, tendo evoluído lado a lado com o motor de IC [3]. Actualmente, eventos como a Guerra do Golfo, a mais recente Guerra do Iraque, a diminuição das reservas de petróleo e o aumento exponencial das necessidades energéticas dos países em vias de desenvolvimento, resultaram num aumento exponencial do preço do petróleo e, conseqüentemente, dos seus derivados [4, 8, 9, 10].

Hoje em dia é claro o impacto ambiental dos gases resultantes da queima de derivados de petróleo (entre os quais se destacam o CO, CO₂, SO₂, NO_x e hidrocarbonetos) [4, 8, 11, 12], nomeadamente, os imputáveis ao sector dos transportes, que, em termos quantitativos de emissões de CO₂, se prevê que atinjam na União Europeia (UE) 934 milhões de ton/ano no ano de 2010 [12].

O consenso generalizado da comunidade científica, acerca do papel que os óleos vegetais (OV) poderão assumir na redução efectiva dos gases provenientes do funcionamento dos motores de IC, levou a que o Parlamento Europeu publicasse Directivas Comunitárias que prevêm o seu uso, e consagram os seus benefícios [12], tendo Portugal transposto essas directivas para a Legislação Portuguesa [11].

O capítulo seguinte (2) apresenta a metodologia seguida no decorrer da elaboração deste trabalho, sendo que o capítulo 3 enumera os seus objectivos. O capítulo 4 referencia as principais características que os OV devem possuir, por forma a serem passíveis de serem utilizados como combustíveis em motores de IC, exemplificando através da descrição de alguns dos mais comuns. As principais consequências que advêm do uso de OV em motores de IC, são apresentadas no 5º capítulo. Todo o capítulo 6 é dedicado à abordagem das técnicas de redução de viscosidade dos OV. Os principais benefícios resultantes do emprego de OV como combustíveis em motores de IC são referenciados em 7. No capítulo 8 são abordadas as modificações que são necessárias ao sistema de alimentação de combustível do motor de IC, por forma a ser possível usar OV como combustível. Finalmente no capítulo 9 e 10 são realizadas referências à legislação e normas existentes relativamente ao uso dos OV. No capítulo 11 figuram as conclusões finais do trabalho.

2. Metodologia

Este trabalho é um artigo de revisão literária, a pesquisa documental foi obtida com recurso à *World Wide Web* (WWW), tendo sido dada particular atenção a bases de dados de organizações de publicação de artigos científicos reconhecidas, nomeadamente a *Elsevier* e a *Informa*. Foi dada especial importância à análise de artigos científicos redigidos por colaboradores de diversos Grupos de I&D, assim como de departamentos das áreas da Engenharia Mecânica e Engenharia Bioquímica, de Universidades e Politécnicos reputados da Europa, América, Ásia e Austrália. Outros trabalhos de investigação e ensaios não publicados, provenientes de fontes similares, foram também analisados. Suplementarmente, foram ainda considerados relatórios estatais da União Europeia e Austrália, assim como Portarias e Decretos-Lei publicados no Diário da República Portuguesa e Directivas Comunitárias publicadas no Jornal Oficial da União Europeia. Outros recursos provenientes de pesquisa directa na WWW foram também considerados, tendo sido a sua utilização limitada.

3. Objectivos

Com este trabalho pretende-se analisar e tirar conclusões sobre o uso de OV, virgens ou usados, em estado puro ou diluídos em gasóleo convencional, não trans-esterificados ou alterados quimicamente, como combustíveis para motores de IC; e apurar os principais problemas associados ao uso de OV como combustíveis para motores de IC, e apresentar possíveis soluções com vista na sua resolução.

4. Características típicas de alguns OV

De entre as diversas características físico-químicas dos combustíveis para motores de IC, segundo A. S. Ramadhas et al., 2003, destacam-se as seguintes:

- Qualidade de ignição: uma boa combustão exige uma auto-ignição do combustível aquando da sua injeção (próximo do *ponto morto superior*), sendo que, atrasos de ignição do combustível conduzem a efeitos adversos. Este parâmetro é traduzido pelo índice de cetano, que idealmente se deve situar entre 40 e 60;

- Viscosidade: A viscosidade do combustível afecta determinantemente a atomização e mistura do mesmo com o ar, aquando da sua injeção, condicionando uma combustão eficaz;

- Poder calorífico: embora as câmaras de combustão dos motores IC tolerem variações significativas deste valor, são aconselhados valores elevados de poder

calorífico por forma a se obter um funcionamento aceitável.

A tabela seguinte, Tabela 1. Características típicas de alguns OV em estado puro, apresenta as características mais relevantes de alguns dos OV's mais importantes:

Tabela 1. Características típicas de alguns OV em estado puro [4, 5, 13, 14]

Combustível	Densidade a 15 °C (kg/m ³)	Viscosidade a 27 °C (mm ² /s)	Poder calorífico (MJ/Kg)	Índice de cetano
gasóleo	815	4,3	43,4	47
ó. de palma	918	42	38	43
ó. de soja	914	65	39,6	37,9
ó. de girassol	918	58	39,5	37,1
ó. de nabiça	914	39,5	37,6	37,6
ó. de algodão	912	50	39,6	48,1
ó. de milho	915	46	37,8	37,6
ó. de <i>jatropha curcas</i>	932 *	52,7 *	38,2	38
ó. de côco	915 **	27,4 ***	40,5	35

*a 30 °C; ** a 15,5 °C; *** a 40 °C

5. Consequências do uso de OV como combustível em motores de IC

Como se pode verificar anteriormente, com excepção da "viscosidade", os OV indicados possuem características similares ao gasóleo. Não obstante a semelhança destas propriedades [15], o uso directo, e em condições similares ao uso do gasóleo, de OV como combustíveis resulta em consequências negativas para os motores de IC e seus sistemas de alimentação.

Testes e ensaios, de curta e longa duração, atestam que a montante da câmara de combustão é comum o entupimento dos injectores, bomba injectora, filtro de combustível, canais de combustível; danificação dos componentes móveis da bomba injectora, formação/acumulação de gomas e resinas (polímeros) no circuito de combustível [4, 5, 6, 13, 15, 16, 17, 18,]; encravamento da bóia de combustível devido à acumulação de gomas e resinas no depósito de combustível [19, 20, 21]. Na câmara de combustão, e a montante desta, tipicamente ocorre formação de depósitos de carvão (nos cilindros, injectores, válvulas e entre os segmentos), adesão dos segmentos às paredes dos cilindros, aumento de emissão de gases poluentes (CO, CO₂, NO_x e hidrocarbonetos) e partículas suspensas. Adicionalmente, devido à combustão incompleta do combustível, ocorre também a contaminação do óleo lubrificante, conduzindo ao seu espessamento, aumento de acidez, entupimento de filtro do óleo, desgaste prematuro do motor, dificuldades de arranque, diminuição de potência [4, 5, 6, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23].

Todos estes problemas são directamente devidos à elevada viscosidade dos OV quando comparada com a do gasóleo [4, 5, 6, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 25, 26], sendo que aqueles que ocorrem na câmara de combustão são ainda agravados pela menor inflamabilidade e volatilidade dos OV [16, 27].

A generalidade dos motores de IC são desenvolvidos para operarem com gasóleo como combustível; desta forma, todos os seus componentes (injectores, câmaras de combustão, ante-câmaras de atomização e turbulência, *pistons*, *rails* de combustível, bombas injectoras, entre outros) são dimensionados e desenhados segundo as características deste. Sendo a viscosidade uma das principais características que conduzem a uma correcta atomização, e esta é dramaticamente diferente nos OV puros (a 27 °C é sempre superior a 10 vezes). A atomização do combustível, e conseqüente mistura do mesmo com o ar admitido, é fortemente prejudicada, resultando numa incompleta combustão da referida mistura, com todas as conseqüências negativas, referidas anteriormente, que daí advêm [4, 5, 6, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 25, 26].

Com base nesta observação, surgem algumas abordagens possíveis com vista ao uso dos OV como combustíveis para motores de IC.

6. Técnicas de redução da viscosidade dos OV

O problema da elevada viscosidade dos OV tende a ser resolvido pela sua diluição, micro-emulsão, trans-esterificação, pirólise [3, 5, 13, 25] e elevação de temperatura [14, 17].

Uma emulsão não é mais que uma suspensão de um ou mais líquidos ou sólidos num fluido. A estabilidade das emulsões é condicionada pelo seu repouso mecânico, ocorrendo, por norma, a separação das fases imiscíveis após um determinado período de repouso, o que pode inviabilizar o seu uso nas aplicações em estudo.

A trans-esterificação e a pirólise dos OV possibilita o seu uso directo nos actuais motores de IC, no entanto, os processos de produção complexos, os reagentes e catalisadores necessários, assim como os sub-produtos de reacção, acrescentam perigos, custos e riscos condicionando a utilização da mesma [5, 6, 17,], assim como também, promovem problemas ambientais e de segurança adicionais [20, 28, 29, 30].

A forma mais simples de diminuir a viscosidade dos OV é através do aumento da sua temperatura e/ou diluição em gasóleo em proporções adequadas [14].

6.1. Redução de viscosidade através de diluições de OV em gasóleo

A diluição de OV em gasóleo apresenta-se como a solução mais simples, e com custos mais baixos, que possibilita o uso de OV como combustível em motores de IC. A Tabela 2. Principais características de algumas diluições de OV em gasóleo, apresenta algumas diluições de OV em gasóleo que, segundo os estudos de K. Pramanik, 2002; O. M. I. Nwafor e G. Rice, 1996; M. A. Kalam et al., 2003 e J. A. López Sastre et al., 2002; possibilitam o uso de OV como combustível em motores de IC.

Tabela 2. Principais características de algumas diluições de OV em gasóleo [8, 13, 31, 32]

Combustível	Densidade a 15 °C (kg/m ³)	Viscosidade a 27 °C (mm ² /s)	Poder calorífico (MJ/Kg)	Índice de cetano
100 % G	815	4,3	43,4	47
20 % ó. de girassol + 80% G	864	4,64 **	41,1	-
25 % ó. de nabiça + 80 % G	866	8,7	43,3	37,6
20 % ó. de <i>jatropha curcas</i> + 80 % G	862 *	6,9	-	-
20 % ó. de còcò + 80 % G	857	3,93 **	43,5	47

* a 30 °C, ** a 40 °C; G = gasóleo

Um outro estudo realizado por Metn Ergeneman et al., 1997, demonstrou ser exequível a utilização de diluições 20 % de OV de girassol, milho, soja e azeitona, em 80 % de gasóleo. Em 2000, Turgut Özaktas, provou ser possível usar óleo de girassol usado em frituras (devidamente tratado), em condições similares, numa razão de 20 % para 80 % gasóleo.

Apesar da diluição de OV em gasóleo apresentar resultados promissores, a quantidade de OV passíveis de serem usados é relativamente reduzida, limitando os benefícios da sua utilização.

6.2. Redução de viscosidade de OV através de elevação de temperatura

A elevação de temperatura pode ser usada de forma isolada sobre 100 % OV, a par de uma dada diluição em gasóleo ou emulsão, com o objectivo de reduzir a viscosidade do combustível [14, 17, 26]. A elevação da temperatura do combustível, por si só, não acarreta melhorias directas ao nível da performance do motor de

IC. No entanto, a resultante redução de viscosidade, permite que o referido combustível circule de forma mais aproximada à do gasóleo, eliminando os referidos prejuízos no sistema a montante da câmara de combustão, no seu interior e a jusante da mesma [17]. A generalidade dos OV referenciados, em estado puro, atinge uma viscosidade próxima das diluições a 20 % quando são aquecidos a uma temperatura de 85 °C a 100 °C [5, 14, 15, 17, 26, 33, 34].

7. Avaliação do impacto ambiental do uso de OV em motores de IC

O uso de OV, diluídos ou puros, como combustível em motores de IC não produz qualquer efeito reversivo sobre os gases poluentes presentes na atmosfera. O facto de reduzirem significativamente as emissões de gases poluentes, nomeadamente de CO₂, deve-se não a uma redução efectiva na sua produção aquando da combustão (por norma é equivalente ao produzido usando gasóleo), mas sim ao facto de a planta oliogénica, que dá origem ao OV, absorver uma quantidade equivalente de CO₂ da atmosfera durante o seu crescimento [34, 35]. Desta forma o balanço de CO₂ na atmosfera passível de ser atribuído ao uso de OV em motores de IC pode cair para cerca de 80 % a 96 % menos, quando comparado com o produzido pelo uso de gasóleo [35]. Contrariamente ao gasóleo, os OV não possuem enxofre, desta forma não se produz SO₂ aquando da sua combustão (menor contribuição para a ocorrência de “chuvas ácidas”) [15, 20, 32, 34, 35].

Os OV, no seu estado puro, são ainda considerados uma fonte de energia renovável, não apresentando qualquer perigo de toxicidade ou explosão, e são totalmente biodegradáveis [14, 17, 20, 26, 34, 35].

8. Impacto e modificações dos sistemas de alimentação visando o uso de OV

A adaptação do sistema de alimentação de combustível original de um motor de IC surge, fundamentalmente, motivado pela implementação da técnica de redução de viscosidade por meio de elevação de temperatura do OV.

Poucas adaptações são necessárias caso se pretenda operar motores de IC com quantidades de OV inferiores a 20 % do volume de combustível [13, 16]. Porém, caso o objectivo seja usar quantidades superiores, é necessário seguir uma estratégia de adaptação que preveja a possibilidade de operação com dois combustíveis – gasóleo e óleo vegetal. Esta motivação surge aliada ao facto de ser extremamente difícil colocar em funcionamento os motores IC projectados para operar a gasóleo, usando OV, e ainda devido a ser necessário remover o OV presente do circuito de combustível, antes de desligar o motor, por forma a prevenir o entupimento

de filtros, bomba injectora e injectores, e preparar o motor para um novo arranque a gasóleo [15, 20, 21, 28, 34, 36, 37].

8.1. Considerações sobre os motores de IC

Devido às dificuldades de atomização de OVs ou suas diluições em gasóleo, a mistura ar-combustível é dificultada. Motores de IC de injeção indirecta, com ante-câmara de atomização e turbulência, parecem padecer de menores consequências negativas quando alimentados com OV do que os motores de IC de injeção directa [16, 20, 34]. Este facto encontra-se associado quer ao impacto positivo do efeito turbulência na mistura ar-combustível, quer aos injectores utilizados em motores de injeção indirecta possuírem orifícios de maiores dimensões, estando por isso dimensionados para funcionarem com atomizações de combustível de maior dimensão [34]. No entanto, entre diversos outros, os estudos realizados por Filiz Karasmanoglu et al., 2000, num motor IC de injeção directa, alimentado com óleo de girassol puro aquecido, em ensaio de longa duração, demonstraram ser igualmente possível usar OV puros em motores IC de injeção directa. Refira-se que no decorrer deste estudo, o autor e seus colegas, tiveram o cuidado de arrancar o motor de IC com gasóleo e purgar o sistema de alimentação, através da comutação para funcionamento a gasóleo, antes de cada paragem.

8.2. Tecnologia de aquecimento do OV

Os sistemas de pré-aquecimento e aquecimento de OV têm como objectivo aumentar a temperatura do OV até um determinado valor (tipicamente entre os 70 °C e 90 °C), por forma a reduzir a sua viscosidade para valores próximos da viscosidade do gasóleo à temperatura ambiente. As versões comerciais mais comuns baseiam-se em permutadores de calor que recorrem a energia eléctrica (proveniente, por exemplo, da bateria do sistema de carga), calor proveniente do fluido de refrigeração do motor ou a combinação de ambos. Caso as condições climáticas o justifiquem, é possível que o combustível seja pré-aquecido directamente em depósitos especiais, antes de ser bombeado até ao aquecedor principal [20, 21, 28, 34, 36, 37].

8.3. Modificações na linha de retorno de combustível

A estabilidade química dos OV é relativamente baixa quando comparada com o gasóleo, pelo que a sua velocidade de oxidação é extremamente elevada. Adicionalmente, as reacções de oxidação são aceleradas com o aumento da temperatura, podendo tornar-se até três

vezes mais rápidas por cada aumento de 10 °C na temperatura [19]. Tomando em consideração que o OV é aquecido antes da bomba injectora, e sabendo que as bombas injectoras e injectores possuem uma linha de retorno de excesso de combustível ao depósito, é certo que determinadas porções de OV serão aquecidas diversas vezes. Este fenómeno, além de deteriorar a qualidade do combustível, promove a polimerização do OV no circuito a montante da câmara de combustão, conduzindo à ocorrência de diversos dos problemas anteriormente referidos [19].

Uma técnica simples de resolução deste problema é a ligação da linha de retorno de combustível à linha de alimentação de combustível antes da bomba injectora. Porém esta solução pode resultar em problemas relacionados com intolerância de ar no circuito de combustível [28].

Facilmente se depreende que este procedimento deve ser seguido, quer seja usado OV puro ou diluído em gasóleo.

8.4. Substituição do sistema de injeção

Em conjunto com as alterações já referidos é ainda possível alterar outros componentes do circuito de combustível. Nomeadamente, os injectores podem ser substituídos por outros que tenham sido concebidos para funcionamento com OV, registando-se uma drástica melhoria da performance do motor de IC, devido a um padrão de atomização e mistura mais correcta, e possibilitando uma solução de conversão mono-combustível [20].

8.5. Impacto da alteração do momento de injeção de combustível

Apesar das técnicas de redução de viscosidade sugeridas aproximarem fisicamente os OVs, e suas diluições do gasóleo, em termos químicos as diferenças mantêm-se. O decréscimo verificado ao nível do índice de cetano, influencia negativamente o funcionamento do motor de IC, na medida em que aumenta o tempo de combustão da mistura combustível. Este facto, aliado a uma menor atomização do combustível, conduz a um aumento, quer dos níveis de carvão que se forma na câmara de combustão, quer dos gases resultantes de uma combustão incompleta que circulam para o escape.

Em 2000, O. M. I. Nwafor et al., e mais tarde (em 2001) S. Bari et al., provaram, com sucesso, ser possível compensar os efeitos da redução do índice de cetano e aumento da viscosidade nos OV, relativamente ao gasóleo, através do ajuste moderado do momento de injeção do combustível na câmara de combustão. Ainda que recorrendo a acréscimos de atrasos de momentos

injecção diferentes (3,5 ° e 2,6 ° respectivamente), ambos os estudos verificaram que seria possível reduzir os efeitos negativos verificados. Refira-se ainda que, foram usados dois motores de IC com tecnologias de injeção distintas (respectivamente injeção indirecta e directa).

8.6. Considerações sobre manutenção

Caso se verifiquem as condições ideais de combustão do combustível, não serão necessárias alterações ao plano de manutenção do motor de IC considerado. No entanto, por questões de precaução, poderão ser utilizados óleos lubrificantes imunes à contaminação por óleos vegetais [20]. Eventualmente, os intervalos entre descarbonizações dos injectores, cabeças dos pistons, válvulas e colectores de escape poderão vir a ser reduzidos devido a um pequeno acréscimo de resíduos de combustão [15].

9. Legislação

O uso de OV, puros ou diluídos, como combustíveis em motores de IC está previsto na Directiva Comunitária 2003/30/CE de 8 de Maio de 2003. A alínea j), do ponto 1 do Artigo 2º consagra o (assim definido) “Óleo vegetal produzido a partir de plantas oleaginosas” como sendo parte dos “biocombustíveis”, sendo definido no Artigo 3º, ponto 2 alíneas a) e b) a forma como poderão ser disponibilizados. Ainda nas considerações iniciais desta directiva (no ponto 9) pode lêr-se: “*As frotas cativas oferecem a possibilidade de utilizar uma concentração mais elevada de biocombustíveis. Em algumas cidades existem já frotas cativas que funcionam com biocombustíveis puros, que, em certos casos, contribuíram para melhorar a qualidade do ar nas zonas urbanas. ...*”

A referida Directiva Comunitária foi integralmente transposta para a Legislação Portuguesa através do Decreto-Lei nº62/2006 de 21 de Março. Entre as observações introdutórias pode lêr-se: “*... Acresce que a utilização de óleos alimentares usados e gorduras animais para a produção de biocombustíveis apresenta-se como sendo uma alternativa ecológica à sua eliminação, alternativa que é relevante para os pequenos produtores dedicados, que utilizam resíduos biológicos como matéria-prima para a produção de biocombustíveis. ...*”.

10. Normas qualidade

O considerável avanço tecnológico, aliado à grande difusão do uso de OV como combustível na Alemanha, conduziu à publicação da norma “Weihenstephan 05/2000”. Nesta estão previstas as características de qualidade mínimas relativamente às propriedades do óleo

de nabiça (*rapessed oil*) quando destinado ao uso como combustível em motores de IC [20, 34]. Embora o seu âmbito se restrinja exclusivamente ao óleo de nabiça, esta pode ser tomada como padrão para o uso de outros OV em motores de IC.

11. Conclusões

Após uma análise de todos os dados apresentados, e à semelhança das conclusões referidas pelos diversos autores, é possível concluir que o uso de OV como combustível em motores de IC, possui um elevado potencial. Porém, não obstante os resultados promissores, o seu uso reveste-se de algumas considerações fundamentais, nomeadamente no que se refere ao seu impacto nos motores de IC comuns e às modificações necessárias por forma a possibilitar o seu uso de forma eficiente e segura, e por forma a garantir a longevidade do motor e os níveis de emissões de gases poluentes dentro das normas legais.

Segundo um ponto de vista prático, as principais dificuldades técnicas inerentes ao uso de OV como combustíveis em motores de IC, surgem quando se pretende utilizar quantidades de OV superiores a 20 % do volume de combustível, sendo que os principais problemas encontrados surgem associados à elevada viscosidade dos mesmos. Neste caso, a redução de viscosidade por aumento da temperatura do OV, surge como a alternativa mais indicada, sendo que os seus resultados serão ainda mais satisfatórios se conjugada com um ajuste apropriado do momento de injeção dos combustível ou eventual alteração dos injectores.

Apesar da abrangência deste trabalho, um estudo comparativo da relação custo benefício do investimento na adaptação de motores de IC para operação com OV puros face ao uso de OV em percentagens inferiores a 20 % do volume de combustível, eventualmente correlacionado com o período de funcionamento expectado do motor, poderia clarificar qual a opção mais viável a adoptar caso se pretenda utilizar OV em motores de IC.

12. Referências

- [1] "Rudolf Diesel", *Wikipedia*, disponível on-line: http://en.wikipedia.org/wiki/Rudolf_Diesel.
- [2] "The Diesel Engines", *Start Your Engines*, disponível on-line: <http://library.thinkquest.org/C006011/english/sites/diesel.php?v=2>.
- [3] A.S. Ramadhas, S. Jayaraj, C. Muraleedharan, "Use of vegetable oils as I.C. engine fuels- A review", *Renewable Energy*, India, 2003, pp. 727-742.
- [4] R. Altin, S. Çetinkaya, H.S. Yücesu, "The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines", *Energy Conversion and Management*, Turquia, 2001, pp. 529-538.
- [5] N. Tippayawong, T. Wongsiriamnuay, W. Jompakdee, "Performance and Emissions of a Small Agricultural Diesel Engine Fueled with 100% Vegetable Oil: Effects of Fuel Type and Elevated Inlet Temperature", *Engineering Chiang Mai University*, Tailândia, 2003.
- [6] K.P. McDonnell, S. M. Ward, P.B. McNulty, "Results of engine and vehicle testing of semi-refined rapessed oil", *University College Dublin*, Irlanda.
- [7] S. Hobbs, "De-centralised energy production", *Australian Nuffield Farming Scholars Association*, Australia, 2003.
- [8] J.A.L. Sastre, J.S.J. Alonso, C.R. Garcia, E.J.L. Romero-Ávila, C.R. Alonso, "A study of the decrease in fossil CO₂ emissions of energy generation by using vegetable oil as combustible", *Building and Environment*, Espanha, 2003, pp. 129-133.
- [9] J. Henriques, "A razão por detrás da subida do preço do petróleo", *AVA Financeira*, 2004, disponível on-line: http://www.clubeinvest.com/bolsa/show_futures_technical_analysis.php?id=687.
- [10] J.L. Williams, "Oil price history and analysis", *WTRG Economics*, Disponível on-line: <http://www.wtrg.com/prices.htm>.
- [11] "Ministério da Economia e da Inovação - Decreto-Lei nº 62/2006 de 21 de Março", *Diário da República Portuguesa- I Série-A*, nº57, pp. 2050-2054.
- [12] "Directiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 8 de Maio relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes", *Jornal Oficial da União Europeia*, Portugal, 2003, pp. 123-142.
- [13] K. Pramanik, "Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression", *Renewable Energy*, India, 2003, pp. 239-248.
- [14] C. Tangsathitkulchai, Y. Sittichaitaweekul, M. Tangsathitkulchai, "Temperature Effect on the Viscosities of Palm Oil and Coconut Oil Blended With Diesel Oil", *JAOCs*, Tailândia, 2004, pp. 402-404.
- [15] F.K.G. Kurt, T. Özaktas, "Direct use of sunflower oil as a compression-ignition engine fuel", *Energy Sources*, Turquia, 2000, pp. 659-672.
- [16] M.E.T. Özaktas, K.B.C.F. Karaosmanoglu, E. Arslan, "Effect of Some Turkish Vegetable Oil-Diesel Fuel Blends on Exhaust Emissions", *Energy Sources*, India, 1997, pp. 879-885.

- [17] S. Bari, T.H. Lim, C.W. Yu, "Effects of preheating of crude palm oil (CPO) on injection system, performance and emission of a diesel engine", *Renewable Energy*, Malásia, 2002, pp. 339-351.
- [18] G. Prateepchaikul, T. Apichato, "Palm oil as a fuel for agricultural diesel engines: comparative testing against diesel oil", *Journal of Science and Technology*, Tailândia, 2003.
- [19] Joe Beatty, "Vegetable Oil as Fuel", *Albuquerque Alternative Energies*.
- [20] ELSBETT – Pionier der Pflanzenöltechnik, disponível on-line: <http://www.elsbett.com>.
- [21] FryBrid Vegetable Oil Fuel Systems, disponível on-line: <http://www.frybrid.com/>.
- [22] "The use of sunflower oil as diesel fuel for DI engines", disponível on-line: <http://my.voyager.net/~mlh/21Resume1.pdf>.
- [23] T. Clark, "Waste vegetable oil conversion of Mazda 1990 2.0L diesel station wagon", disponível on-line: <http://www.shortcircuit.com.au/warfa/WVOMazdaDiesel.htm>.
- [24] C.D. Rakopoulos, K.A. Antonopoulos, D.C.Rakopoulos, "Multi-zone modeling of Diesel engine fuel spray development with vegetable oil, bio-diesel or Diesel fuels", *Energy Conversion and Management*, Grécia, 2006, pp. 1550-1573.
- [25] T. Özaktas, "Compression ignition engine fuel properties of a used sunflower oil-diesel fuel blend", *Energy Sources*, Turquia, 2000, pp. 377-382.
- [26] "Advanced Combustion Research for Energy from Vegetable Oils (ACREVO) - Final Report", *FAIR1-CT95-0627*, 2001.
- [27] O.M.I. Nwafor, G. Rice, A. I. Ogbonna, "Effect of advanced injection timing on the performance of rapeseed oil in diesel engines", *Renewable Energy*, Nigéria, 2000, pp. 433-444.
- [28] P. Calais, A.R. Clark, "Waste vegetable oil as a diesel replacement fuel", disponível online: <http://www.shortcircuit.com.au/warfa/paper/paper.htm>.
- [29] T. Whittington, " Biodiesel Production and use by Farmers - is it worth considering?", *Department of Agriculture and Food*, Austrália, 2006.
- [30] G. Blair, "Getting started making biodiesel", *Collaborative Biodiesel Tutorial*, Utah, 2005.
- [31] O.M.I. Nwafor, G. Rice, "Performance of rapeseed oil blends in a diesel engine", *Applied Energy*, Nigéria, 1996, pp. 345-354.
- [32] M. A. Kalam, M. Husnawan, H.H. Masjuki, "Exhaust emission and combustion evaluation of coconut oil-powered indirect injection diesel engine", *Renewable Energy*, Malásia, 2003, pp. 2405-2415.
- [33] H. Nouredini, B.C. Teoh, L.D. Clements, "Viscosities os vegetable oils and fatty acids", *JAOCS*, Nebrasca, 1992, pp. 1189-1191.
- [34] G. Elsbett, M. Bialkowsky, "Engines running on pure vegetable oil as regrowing fuel history, development, experinece, chances", *Shangai International Simposium*, Edimburgo, 2003.
- [35] P. Jensen, "Unmodified Vegetable oil as an automotive fuel", *Joint Research Center*, Dinamarca, 2005.
- [36] Greasecar Vegetable Fuel Systems, disponível on-line: <http://www.greasecar.com/>.
- [37] "Biofuels", *Journey to Forever*, disponível on-line: <http://journeytoforever.org/biofuel.html>.