



¹Antônio Carlos Neves Costa

²Fausto Zaghetti Júnior

³Raimundo Magalhães Farias

* Maurício Mello de Moraes - Maj Eng

** Celso Luiz Pereira - Cap Esp Av

*** Márcio Pinto Sérgio - Cap Esp Av

**** Joel Aguar de Sousa - 3 SBMA

EMPREGO DO ÁLCOOL ETÍLICO NOS MOTORES AERONÁUTICOS ALTERNATIVOS

RESUMO

A finalidade deste trabalho é mostrar a viabilidade da conversão dos motores aeronáuticos ciclo Otto, movidos a gasolina, para o funcionamento com álcool etílico hidratado. Serão abordados um breve histórico, os aspectos relativos à produção do álcool etílico, as modificações implantadas no motor e na aeronave para o funcionamento com álcool, a performance do motor e os aspectos econômicos relativos a esta modificação.

Palavras-Chave: álcool combustível, conversão de motores, ciclo Otto.

1 - CFOE AV. Servia em 2005 no 6º ETA, como Mecânico de Voo. Engenharia Mecânica.

2 - CFOE AV. Servia em 2005 na AFA, como Encarregado da Seção de Motores. Linc. em Ciências Biológicas.

3 - CFOE AV. Servia em 2005 no 2º/3º GAV, como Encarregado da Seção de Planejamento e Controle, Bacharel em Ciências Contábeis

* - Colaborador, serve no PAMAGL, como Chefe da Divisão de Engenharia.

** - Leitor Técnico, serve na AFA, como Chefe da Inspetoria da Divisão de Suprimento e Manutenção, Setor Leste.

*** - Leitor Técnico, serve no CIAAR, como Chefe da Subdivisão de Instrução da Divisão de Ensino.

**** - Colaborador, serve no 3º/10º GAV, como Mecânico de Pista.

1. HISTÓRICO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum*) tem como origem a Oceania, na ilha Nova Guiné (FIG. 1); foi introduzida no Brasil pelos portugueses no início do século XVI em duas regiões diferentes: no Nordeste, no estado de Pernambuco, e no Sudeste, no estado de São Paulo. Devido ao início da produção de açúcar em outras colônias da América Central, administradas pelos holandeses, houve a redução da produção da cana-de-açúcar no Brasil nos séculos seguintes.

No início do século XX o cultivo de cana-de-açúcar fortaleceu-se na região Sudeste, principalmente no estado de São Paulo, onde os imigrantes que chegavam da Europa passaram a desempenhar um papel importante no desenvolvimento.

Em 1933, durante o governo Vargas, foi criado o Instituto de Açúcar e Álcool (IAA), que teve uma participação importante nas atividades econômicas relacionadas ao açúcar e ao álcool no Brasil.

O Brasil é hoje o maior produtor mundial de cana-de-açúcar; o setor gera cerca de US\$ 8,7 bilhões de receita (CARVALHO, 2004), ajudando o país a aumentar o volume de suas exportações e, indiretamente, a reduzir sua dependência da importação do petróleo.



2. ÁLCOOL COMO COMBUSTÍVEL

O uso do álcool combustível obtido a partir da cana teve início no Brasil por volta de 1900. Na década de 1930, em pleno governo Vargas, datam-se os primeiros experimentos com o uso do álcool etílico (etanol) como combustível, nos veículos oficiais.

Não houve muitas mudanças até o começo da década de 1970; mais precisamente em 1975, em plena crise do petróleo, houve a criação do Programa Brasileiro do Álcool (Proálcool), ocasião em que o Brasil iniciou a produção de álcool anidro (desidratado) a partir da cana, cuja



mistura com a gasolina foi utilizada, como combustível, nos motores ciclo Otto de automóveis, na proporção de 24%.

Na segunda fase do programa, que teve início em 1979, também se passou a produzir álcool hidratado, para ser usado em motores do ciclo Otto modificados para funcionar com 100% de etanol.

O Proálcool foi formalmente extinto no início dos anos 90, mas o fomento governamental, em termos de política energética, à produção de álcool, tanto anidro como o hidratado, continua até hoje.

Atualmente, a produção de álcool combustível é mantida pela obrigatoriedade da adição de etanol anidro à gasolina e pela experiência de uma frota estimada em 2,5 milhões de veículos antigos movidos 100% por álcool hidratado (DATAGRO, 2002).

O governo, nos últimos anos, tem implementado políticas alternativas para impulsionar o álcool combustível no país. Nesse sentido, temos a adição de etanol no óleo diesel, para ônibus e caminhões, a fabricação de carros movidos com tecnologia bicomcombustível (álcool etílico e gasolina) e a implantação deste combustível em motores aeronáuticos, que será o enfoque deste trabalho.

3. PRODUÇÃO DO ÁLCOOL

A cana-de-açúcar é cultivada por meio do sistema de rebrotamento, no qual o primeiro corte é feito 18 meses após o plantio e os demais anualmente, por um período de quatro a cinco anos, com redução gradual do rendimento.

Depois de cortada, a cana inteira é levada para a usina, onde é lavada e esmagada, para extrair o caldo, sendo este processado para a obtenção do álcool. O processo será descrito sucintamente:

- a. tratamento: é a neutralização e a esterilização do caldo para que possa receber o fermento (leveduras, ou seja, organismos microbiológicos que se alimentam da glicose do caldo e expelem o álcool);
- b. fermentação: é a fase em que os açúcares do caldo são transformados em álcool, sendo que o teor alcoólico gira em torno de 7% a 10%; nessa fase tem-se o vinho.
- c. destilação: o vinho é aquecido e o álcool é recolhido pela utilização dos diferentes pontos de ebulição das substâncias presentes nas chamadas colunas de destilação.

Em 2002 a produção de álcool no Brasil atingiu 12,6 milhões de metros cúbicos, porém estão sendo desenvolvidas novas tecnologias para aumentar a produção.

O grupo Dedini e o Centro de Tecnologia da Copersucar, com o apoio financeiro da Fundação de Apoio à Pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP), estão desenvolvendo um processo batizado de Dedini Hidrólise Rápida, para produzir álcool a partir do bagaço da cana. Esta tecnologia, se economicamente viável, permitirá elevar a produção de álcool no país em 30%, sem a necessidade de se plantar uma única muda de cana-de-açúcar a mais, desde que 50% da palha de cana, atualmente queimada ou deixada no campo, seja consumida nas caldeiras das usinas, liberando cerca de 35 milhões de toneladas de bagaço para a fabricação de álcool.

4. MOTORES A ÁLCOOL

O motor aeronáutico a pistão funciona baseado no ciclo Otto, no qual o combustível reage com o oxigênio do ar no interior do cilindro produzindo grande quantidade de gases, cuja pressão é capaz de mover um êmbolo. Antes de entrar no cilindro o combustível é misturado com o ar num dispositivo que pode ser um carburador ou um servo-injetor. Atualmente, muitos motores são equipados com um sistema de injeção direta, no qual o ar e o combustível são injetados separadamente, ocorrendo a mistura no interior do cilindro. O ciclo Otto divide-se em fases distintas, que são denominadas tempos, e será descrito a seguir: quando a mistura chega ao cilindro, o êmbolo desce (1º tempo: admissão); em seguida fecha-se a válvula de admissão e o êmbolo sobe e comprime a mistura (2º tempo: compressão). Nesse momento uma vela produz uma faísca provocando a ignição, e a pressão dos gases aumenta ainda mais, deslocando o êmbolo para baixo (3º tempo: combustão ou explosão). Quando o êmbolo chega ao ponto inferior, abre-se a válvula de escapamento; o êmbolo sobe e os gases resultantes da queima são expulsos do interior do cilindro (4º tempo: expansão), iniciando-se em seguida um novo ciclo. Observamos, portanto, que o ciclo Otto completa-se em quatro tempos conforme mostra a FIG. 2.

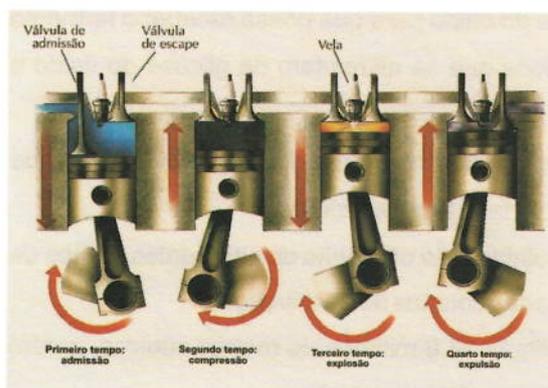


FIGURA 2 - Funcionamento do motor
FONTE: TABUENCA, 1996



A potência produzida por um motor a pistão é uma função da pressão sobre o pistão e da razão de rotação do motor. O piloto, manipulando a rpm e a pressão de admissão, controla, portanto, a potência de saída do motor. A manipulação destes parâmetros é feita basicamente por meio da manete de potência (controle do fluxo de ar) e da manete de mistura (controle da proporção ar/combustível) (FIG. 3, 4).

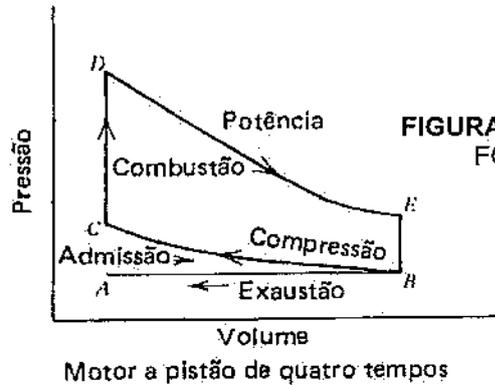


FIGURA 3 - Gráfico pressão x volume
FONTE: SAUNDERS, 1985

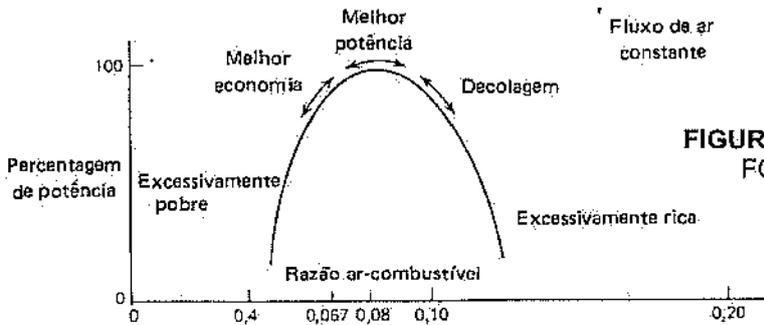


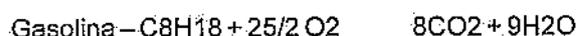
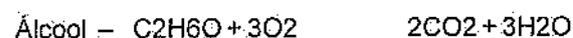
FIGURA 4 - Razão ar x combustível
FONTE: SAUNDERS, 1985

Na aeronáutica, o combustível normalmente utilizado é a gasolina de aviação (AVGAS100/130); porém, no Brasil foram desenvolvidas pesquisas, desde a década de oitenta, com o objetivo de viabilizar o funcionamento destes motores com o álcool etílico (etanol). Estas pesquisas tiveram como subsídio o Proálcool e redundaram na grande inovação da aviação a pistão nos últimos anos, que é o avião Ipanema, produzido pela Indústria Aeronáutica Neiva, em Botucatu-SP, equipado com um motor a pistão Lycoming IO-540-K1J5 de 320 HP, movido a álcool etílico.

Este motor foi projetado inicialmente para operar com gasolina, desenvolvendo 300 HP e sofreu modificações que permitem seu funcionamento com etanol.



O etanol (C_2H_6O) é obtido na destilação e contém aproximadamente 96% de álcool e 4% de água; tem baixa pressão de vapor, fator que reduz a possibilidade de formação de bolhas no sistema de combustível; seu poder calorífico é de 6500 Kcal/kg (FIG. 5) e polui menos que a gasolina conforme se pode ver na reação de entalpia:



Observa-se que a quantidade de CO_2 liberada pela queima da gasolina é quatro vezes maior que a resultante da queima do etanol.

TABELA 1
Poder calorífico dos combustíveis

Combustível	Poder calorífico	
	(kcal/kg)	kJ/kg
Gasolina	11.400	47.800
Óleo diesel	10.700	44.700
Álcool combustível	6.500	27.200
Gás liquefeito de petróleo	11.600	48.500
Gás natural	11.700	49.000

FONTE: FELTRE, 2005

Outro aspecto a ser considerado é a corrosão: neste caso o etanol apresenta as seguintes propriedades:

- semelhantemente à água, pode funcionar como um ácido ou base fraquíssimos;
- reage com metais como K, Na, Mg, Al e Zn, resultando nos respectivos alcoolatos ou etóxidos.

Portanto, devido às particularidades do etanol, para viabilizar o funcionamento do motor, foram necessárias algumas modificações, as quais serão abordadas a seguir:

- revestimento dos cilindros com cromo;
- revestimento dos componentes metálicos do sistema de combustível com níquel;
- a bomba de combustível foi dimensionada para um fluxo maior de combustível e uma pressão mais adequada ao funcionamento do servo-injetor;
- troca dos bicos injetores por bicos de maior diâmetro;



- e. incorporação de um sistema de partida a frio devido à volatilidade do álcool ser menor que a da AVGAS;
- f. instalação de juntas de vedação e diafragma produzidos com materiais compostos resistentes ao etanol;
- g. uso de velas de ignição com três eletrodos de platina com prolongamento para melhorar a queima na câmara de combustão;
- h. aumento da taxa de compressão de 8,7:1 para 9,6:1;
- i. modificação nos tempos de abertura e fechamento das válvulas.

Além das modificações no motor, foram feitas algumas modificações também na aeronave; entre elas temos a aplicação de revestimento interno anticorrosivo no tanque de combustível.

5. ANÁLISE DO DESEMPENHO DO MOTOR MOVIDO A ETANOL

- a. O álcool permite operar com taxa de compressão maior que a da gasolina, a qual tem restrições a taxas maiores que 8,5:1 devido à deflagração (queima anormal da mistura que causa perda de potência) e, conforme mostra a FIG. 5, a taxa de compressão maior do etanol permite um maior rendimento do motor.
- b. Aumento de potência de 5 a 10%.

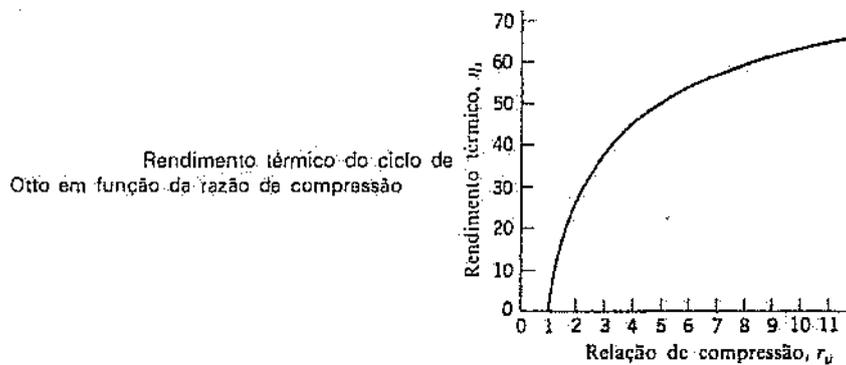


FIGURA 5 - Rendimento do motor
FONTE: VAN WYLEN e SONNTAG, 1976



- c. Este aumento de potência permite um aumento na razão de subida, aumento na velocidade máxima do avião e menor distância para a decolagem.
- d. Devido ao seu poder calorífico menor que o da gasolina, conforme vimos na FIG. 5, o etanol queima em temperaturas menores que a gasolina, com isso a temperatura na cabeça do cilindro é menor, reduzindo o desgaste dos componentes do motor. A Neiva estuda atualmente a possibilidade de extensão do TBO (Tempo entre Revisão Geral) de 1500hs para 1800hs devido ao menor desgaste do motor.

Entretanto, alguns aspectos inerentes à performance da aeronave devem ser considerados:

- a. o consumo de combustível aumenta de 20 a 30%;
- b. a autonomia da aeronave diminui, devido ao aumento do consumo;
- c. a carga útil diminui.

6. PERSPECTIVAS DE EMPREGO DESTA TECNOLOGIA NA FAB

Após a certificação do motor Lycoming IO540, o CTA pesquisa, em convênio com a empresa Magneti-Marelli, o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento eletrônico de motor; o objetivo desta pesquisa é possibilitar a construção de uma aeronave com motor flex-fuel com capacidade de operar com AVGAS e etanol.

A adoção do motor aeronáutico flex deve resultar em substituição ao atual sistema de ignição e alimentação de combustível usado pela maioria dos aviões a pistão, concebidos nos anos 50. Nos motores atuais, o controle da mistura do combustível é feito pelo próprio piloto, que usa sensibilidade e experiência para dosar a quantidade de ar/combustível. O motor flex automaticamente faz o gerenciamento dessa mistura, melhorando a performance.

A primeira fase do projeto envolve a adaptação deste sistema de gerenciamento em um motor Lycoming O-360, que equipa os aviões L-42 Regente. O projeto tem também como objetivo a conversão dos motores da frota de T-25 da FAB em motores a álcool, tendo em vista o alto custo da AVGAS (FIG. 6).

O sucesso do projeto da Neiva e as pesquisas do CTA demonstram que existem grandes perspectivas de mercado para o motor aeronáutico a álcool, tanto na aviação geral (agrícola, aeroclube, táxi aéreo) quanto na militar.

A Força Aérea Brasileira possui uma expressiva frota de aeronaves equipadas com motores ciclo Otto, utilizadas em diversas missões, como: treinamento, transporte, reboque de planadores, etc.



FIGURA 6 - Avião T-25 Universal equipado com motor a álcool
Fonte: CTA

Uma parcela significativa desta frota está sediada na Academia da Força Aérea, em Pirassununga, no estado de São Paulo, região responsável por 61,4% da produção de álcool no Brasil (dados de 2002). Este fator é sem dúvida um grande atrativo para que se viabilize a conversão da frota de aeronaves da FAB para o funcionamento com álcool, tendo em vista a grande oferta de combustível e a redução dos custos com logística (transporte, armazenamento, etc.).

O custo da conversão de uma aeronave oscila entre R\$48.000,00 e R\$54.000,00; contudo, este valor poderá ser equilibrado com a redução dos custos operacionais conforme veremos a seguir, analisando somente a economia com os custos do combustível, embora esta redução possa ser ainda mais acentuada se levarmos em consideração a extensão do TBO do motor e o aumento do intervalo entre as trocas de óleo.

A TAB. 2 mostra a comparação entre o custo da hora voada com AVGAS e o custo com etanol.

TABELA 2
Comparação do custo do AVGAS x etanol

Combustível	Consumo horário	Preço/ litro	Custo/hora voada
AVGAS 100/130	70 litros horas	R\$3,59*	R\$251,30
Álcool etílico	91 litros horas	R\$1,69*	R\$153,79
Diferença		R\$1,90	R\$ 97,51

* Preço pesquisado na região de Belo Horizonte em maio de 2006.



Como se pode observar, operando com álcool ocorre uma redução de R\$97,51 no custo da hora voada; projetando-se um esforço de 10.000 horas voadas/ano teremos uma redução de R\$975.100,00 nos custos destinados ao combustível, valor que equivale ao custo da conversão de, aproximadamente, 19 aviões.

7. CONCLUSÃO

Esta análise, embora superficial, demonstra que a opção pelos motores movidos a álcool é uma excelente perspectiva para a Força Aérea; não somente pela redução nos custos operacionais, mas também pelo avanço tecnológico, colocando a FAB na vanguarda do emprego de combustível alternativo para aeronaves militares.

REFERÊNCIAS

1. FELTRE, Ricardo. **Fundamentos da química**. 4.ed. São Paulo: Moderna, 2005. 700p.
2. GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 341p.
3. ROSILLO-CALLE, Frank; BAJAY, Sérgio V.; ROTHMAN, Harry. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas. Unicamp, 2005. 447p.
4. SAUNDERS, George H., **A dinâmica de voo do helicóptero**. Rio de Janeiro: LTC, 1985. Cap. 2: Sistemas moto-propulsores, p.71-78.
5. TABUENCA, T. B. **Ciência e tecnologia**. Rio de Janeiro: Klick, 1996. 193p.
6. VAN WYLEN, Gordon J.; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1976. 565p.
7. http://www.iae.cta.br/motor_aer_etanol.htm
8. http://www.aeroneiva.com.br/site/content/produtos/produtos_ipanema_apresentacao.asp
9. <http://www.aeroalcool.com.br/index.htm>