

BR 97E 0837
CONF-9509471-

E

MASTER

Publicação IPT

1651

COMUNICAÇÃO TÉCNICA

UTILIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS
ALTERNATIVOS EM UM COMBOIO
FLUVIAL

Carlos Daher Padovezi
Arnaldo Giraldo

São Paulo, 1986



35184

IPT

Pub. 1651

e.3

005316 - 01

Trabalho apresentado no *Simpósio de Engenharia Automotiva* - SIMEA, São Paulo, 03 de setembro, 1985.

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED
FOREIGN SALES PROHIBITED
al



Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo

DISCLAIMER

**Portions of this document may be illegible
electronic image products. Images are
produced from the best available original
document.**

UTILIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS EM UM COMBOIO FLUVIAL

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados da Primeira Campanha de testes com etanol e metanol aditivados realizados com comboio fluvial da CESP na região do Médio Tietê e de linha em linhas gerais uma metodologia de comparação e análise.

1. INTRODUÇÃO

A procura e utilização de combustíveis alternativos àqueles derivados de petróleo tem aumentado no Brasil. Assim, o etanol tem sido largamente utilizado em veículos automotivos, com sua produção e sua distribuição em escalas consideráveis, e outros combustíveis como o metanol e o gás se encontram num estágio de início de desenvolvimento dos meios de produção e de pesquisa.

Uma etapa natural e importante da implementação dos combustíveis alternativos é aquela em que se pode processar a substituição de óleo diesel em motores de potência relativamente altas, quando houver vantagens econômicas e quando possíveis problemas técnicos tenham sido devidamente equacionados e resolvidos. Neste sentido, tem sido muito utilizada conversões de motores de caminhões para operar com etanol aditivado (por exemplo, em caminhões de usinas de açúcar e álcool), de motores de ônibus e até de locomotivas.

O presente trabalho tem por objetivo contribuir para o acúmulo de dados e para a extensão das pesquisas em motores para óleo diesel trabalhando com etanol e metanol aditivados e, principalmente, levantar na prática as consequências e os aspectos técnicos apresentados por motores de um comboio fluvial utilizando os referidos combustíveis.

Para permitir uma visão comparativa de cada tipo de combustível foram realizados ensaios com os motores do comboio com óleo diesel, com etanol de diferentes composições de dois tipos de aditivos e com metanol de diferentes composições de um tipo de aditivo.

Em cada ensaio foram medidas as potências nos eixos dos propulsores (torques e rotações), a velocidade da embarcação e o consumo de combustível dos dois motores.

O local dos ensaios foi um lago a montante da barragem de Barra Bonita no Rio Tietê, onde havia grande largura e pequenas correntezas.

2. CARACTERÍSTICAS DA EMBARCAÇÃO

O Quadro 1 e a Figura 1 apresentam as dimensões do comboio (um empurrador e duas chatas) que foi utilizado nos ensaios.

Quadro 1. Características do Comboio Utilizado nos Ensaios

CARACTERÍSTICAS	DIMENSÕES
Comprimento total do comboio	71,00 m;
Deslocamento do Empurrador	275 t;
Comprimento do Empurrador	18,00 m;
Boca do Empurrador	6,00 m;
Deslocamento de cada Chata	270 t;
Comprimento de cada Chata	26,50 m;
Boca das Chatas	8,00 m;
Calado das Chatas	1,50 m;
Potência Total Instalada no Empurrador	460BHP;
2 motores Scania DSI11R82A; 230BHPx1800RPM;	
Relação Redução no Eixo	1:4;
Hélices*(2)	4 pás.

NOTA: (*) O par de hélices do empurrador foi trocado dias antes do início dos ensaios, a fim de que hélices novos - sem problemas geométricos - pudessem ser utilizados nas medições de desempenho do comboio.

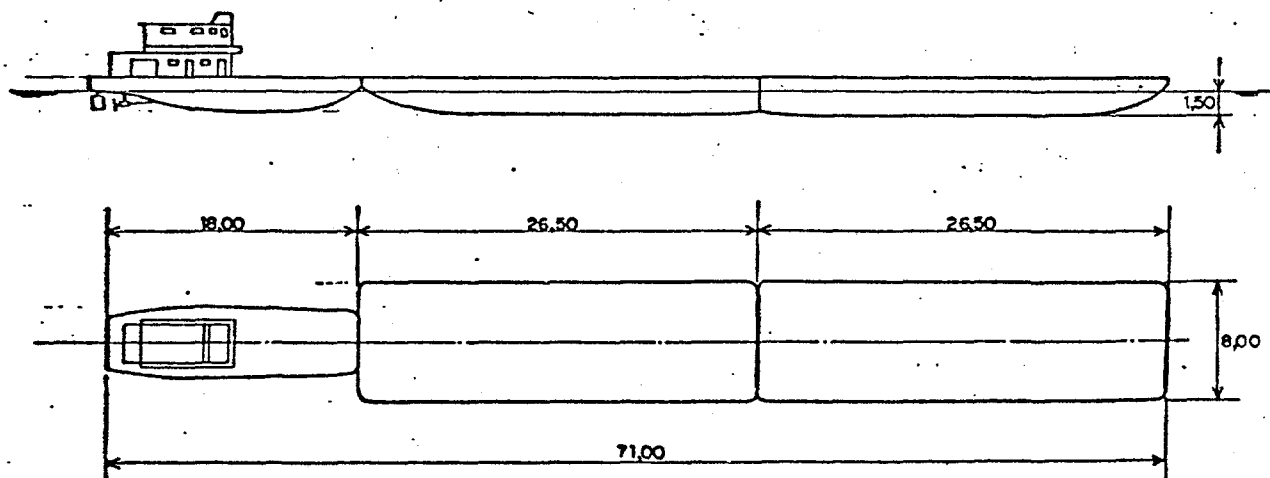


Figura 1 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS DIMENSÕES PRINCIPAIS DO COMBOIO

3. INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

3.1. - Velocidade da Embarcação

A velocidade da embarcação foi medida de forma indireta, através da medida do tempo que a embarcação levava para percorrer um trecho demarcado de um quilômetro de extensão. Este trecho foi sinalizado por quatro bóias locadas com auxílio de instrumentos topográficos, de acordo com a Figura 2.

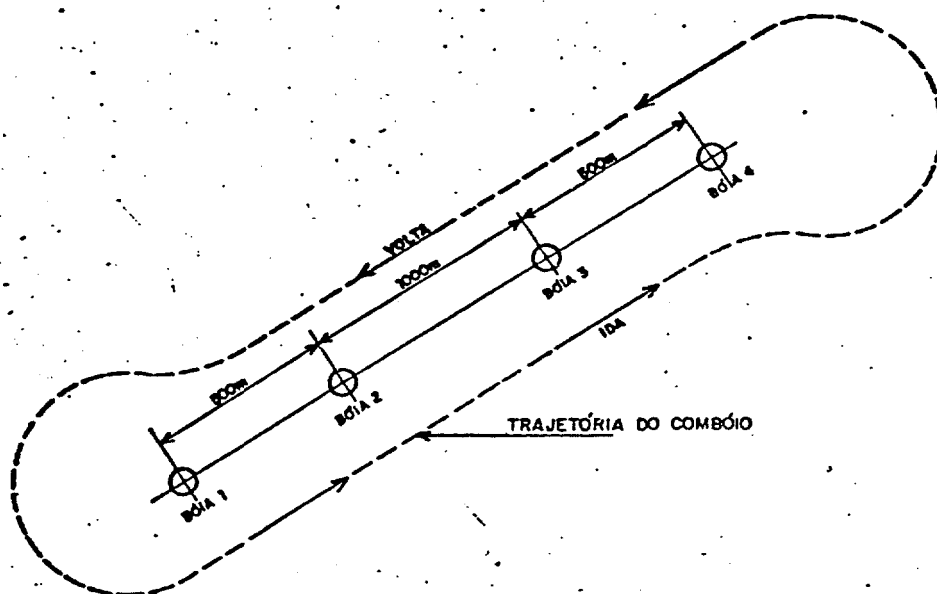


Figura 2 - LOCALIZAÇÃO DAS 4 BÓIAS DE SINALIZAÇÃO UTILIZADAS NAS MEDIÇÕES DE VELOCIDADES DA EMBARCAÇÃO

A trajetória da embarcação era paralela à linha das quatro bóias, tão próxima quanto possível delas, e as medidas de tempo eram realizadas entre as bóias 2 e 3 na ida e entre as bóias 3 e 2 na corrida de volta.

O erro de precisão de localização das bóias 2 e 3 obtida foi de $\pm 0,3\%$ e a variação estimada da direção de percurso da embarcação foi de $\pm 0,2$ graus.

Para a obtenção dos valores de velocidade da embarcação em função das rotações e potências dos motores, adotou-se o sistema de corridas em duas direções com as mesmas rotações (ida e volta), a fim de eliminar influências de ventos e correntezas.

3.2 - Número de Rotações dos Eixos dos Propulsores

Em cada eixo foi instalado um disco de acrílico com sucessivas regiões claras e escuras e para captar os

sinais foi utilizado um sensor ótico que, ligado a um conversor de sinais de frequência em tensão, proporcionava a obtenção de uma voltagem D.C. proporcional à rotação do eixo, em registrador gráfico e em voltímetro digital (Figura 3).

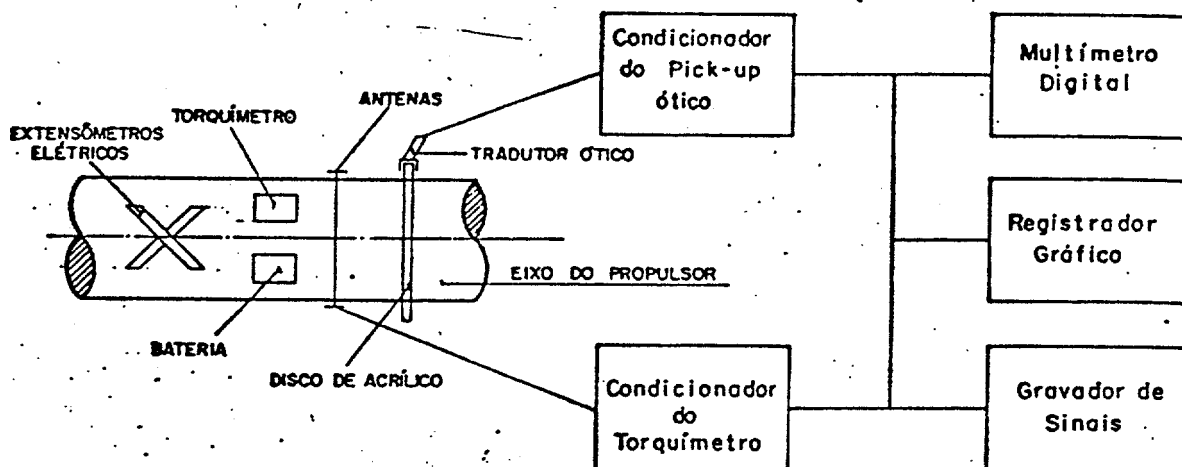


Figura 3— ESQUEMA DA INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA NAS MEDIDAS DOS EIXOS (Rotações e Torques)

3.3 - Torques nos Eixos dos Propulsores

Como mostra a Figura 3, o torque em cada eixo foi obtido através de um torquímetro. Este torquímetro recebe os sinais de deformação dos 4 extensômetros elétricos ("strain gages"), colados no eixo a 45° em relação à linha de centro longitudinal, e transforma-os em sinais de frequências proporcionais. Tais frequências são transmitidas através de um sistema de antenas a um conversor de frequência em tensão, possibilitando a obtenção final do valor de deformação do eixo em registrador gráfico, gravador e/ou voltímetro digital. A relação entre a deformação do eixo e o torque é $T = 4 \frac{G \cdot J_p}{D} \cdot \xi$, onde:

- T = torque no eixo;
- G = módulo de elasticidade transversal;
- J_p = momento polar de inércia do eixo;
- ξ = deformação medida a 45° em relação à longitudinal do eixo.

3.4 - Consumo de Combustível dos Motores

Para a obtenção do valor do volume de combustível consumido pelos motores em cada corrida, foi preparado um circuito à parte, com reservatórios, tubulações e válvulas conforme mostra o esquema da Figura 4. Os tanques próprios de alimentação dos motores não foram utilizados durante o período dos ensaios.

O combustível a ser ensaiado era colocado em dois reservatórios de 200 litros cada, instalados na proa do empurrador. Cada um destes reservatórios era ligado a um dos motores através de um sistema de válvulas direcionais que tinha 3 opções:

- permitia a passagem direta do combustível do reservatório de 200ℓ para o motor (condições de operação fora dos ensaios);
- fazia com que o combustível do reservatório enchesse o recipiente de medidas (preparação de cada corrida); e finalmente,

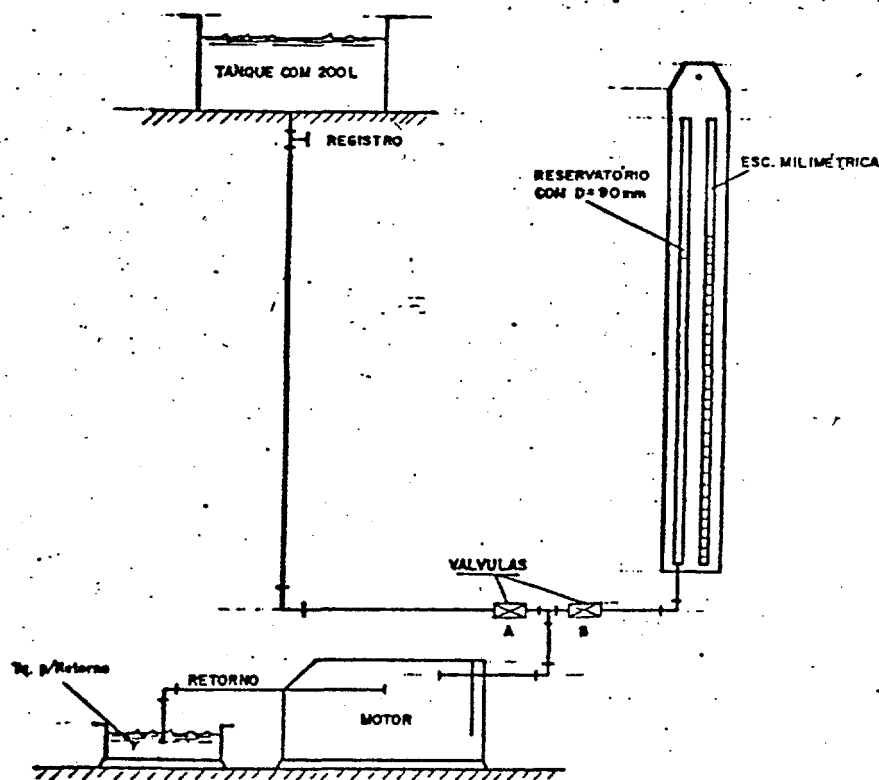


Figura 4 - ESQUEMA DO CIRCUITO UTILIZADO PARA MEDIDAS DE CONSUMOS DE COMBUSTÍVEIS DOS MOTORES

- c) permitia que apenas o combustível do recipiente de medidas fosse utilizado (condição de ensaio) pelo motor.

O combustível de retorno dos motores era armazenado em separado (e depois reaproveitado) quando não se estava em condição de ensaio. Durante a realização das medidas, as mangueiras dos retornos dos motores eram colocadas dentro dos respectivos recipientes de medidas de consumo, propiciando a obtenção das quantidades realmente consumidas pelos motores nos intervalos de tempo considerados. Estes intervalos de tempo eram medidos, através de cronômetro, quando o comboio estava entre as bóias 2 e 3, na ida, e entre a 3 e a 2, na volta.

Foram efetuadas medidas de temperaturas dos combustíveis em cada corrida para a obtenção das respectivas densidades.

4. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

4.1 - Combustíveis Testados

Foram realizados ensaios com os seguintes combustíveis (vide Tabela 1 - Ensaios Realizados):

- Óleo diesel, retirado dos tanques de combustíveis do empurrador;
- etanol com aditivo NTHF (Nitrato de Tetrahydrofurfuril) em 3 diferentes proporções - (7,0%, 7,5% e 8,0%);
- etanol com aditivo DNTEG (Dinitrato de Trietileno Glicol) em 3 diferentes proporções - (4,0%, 4,5% e 5,0%);
- metanol com aditivo DNTEG em 3 diferentes proporções - (3,5%, 4,0% e 4,5%).

Em todas as misturas de etanol foram adicionados 1% de óleo de mamona a fim de lubrificar os motores.

Tabela 1. Ensaios Realizados

NÚMERO DE ENSAIO	COMBUSTÍVEL	DATA
01	Óleo Diesel	11/12/84
02	Óleo Diesel	12/12/84
03	Etanol + 7,5% NTHF	17/12/84
04	Etanol + 8,0% NTHF	18/12/84
05	Etanol + 7,0% NTHF	18/12/84
06	Etanol + 5,0% DNTEG	19/12/84
07	Etanol + 4,5% DNTEG	19/12/84
08	Etanol + 4,0% DNTEG	19/12/84
09	Metanol + 4,0% DNTEG	20/12/84
10	Metanol + 4,5% DNTEG	20/12/84
11	Metanol + 3,5% DNTEG	20/12/84

Os ensaios previstos de metanol com aditivo NTHF não foram realizados devido aos problemas apresentados nos bicos injetores. Três pulverizadores foram avariados em pouco tempo de utilização e logo em seguida, substituiu-se os pulverizadores e reconverteu-se os motores para óleo diesel.

4.2 - Modificações nos Motores

Para a utilização de etanol e metanol aditivados nos motores do empurrador durante os ensaios, optou-se por alterar apenas os débitos das bombas injetoras (Marca BOSCH), ou seja, aumentar os cursos das cremalheiras possibilitando a injeção de maior quantidade de combustível por rotação das bombas. As alterações nas bombas foram realizadas por técnicos de uma firma especializada, um dos quais, inclusive, acompanhou todas as alterações de combustíveis durante os ensaios. Durante estas alterações tentou-se trocar o ângulo de injeção-regulado inicialmente a 20° - mas os resultados foram insatisfatórios: todos os ensaios foram feitos, então, com ângulo de injeção de 20° .

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

A Figura 5 mostra os pontos e a curva dos valores de BHP_{total} (potência dos dois motores) em relação à velocidade do comboio.

A Figura 6 mostra a curva de BHP x rotação do motor de bombordo enquanto a Figura 7 apresenta a curva de BHP x rotação do motor de boreste.

As Figuras 8 e 9 mostram as curvas dos consumos específicos, de todos os combustíveis ensaiados, em função da rotação dos motores de bombordo e de boreste, respectivamente.

Os valores de BHP foram obtidos a partir dos valores médios de BHP (potência no eixo do propulsor), utilizando-se a eficiência de transmissão de 95%.

6. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DOS ENSAIOS

- Os consumos específicos de etanol com DNTEG foram menores do que aqueles obtidos para combustíveis de etanol + NTHF;
- Os consumos específicos de metanol aditivado com DNTG mostraram-se muito sensíveis com a proporção do aditivo presente na mistura;
- A relação entre os consumos específicos dos combustíveis testados pode ser resumida na Tabela 2, que apresenta valores médios dos dois motores;

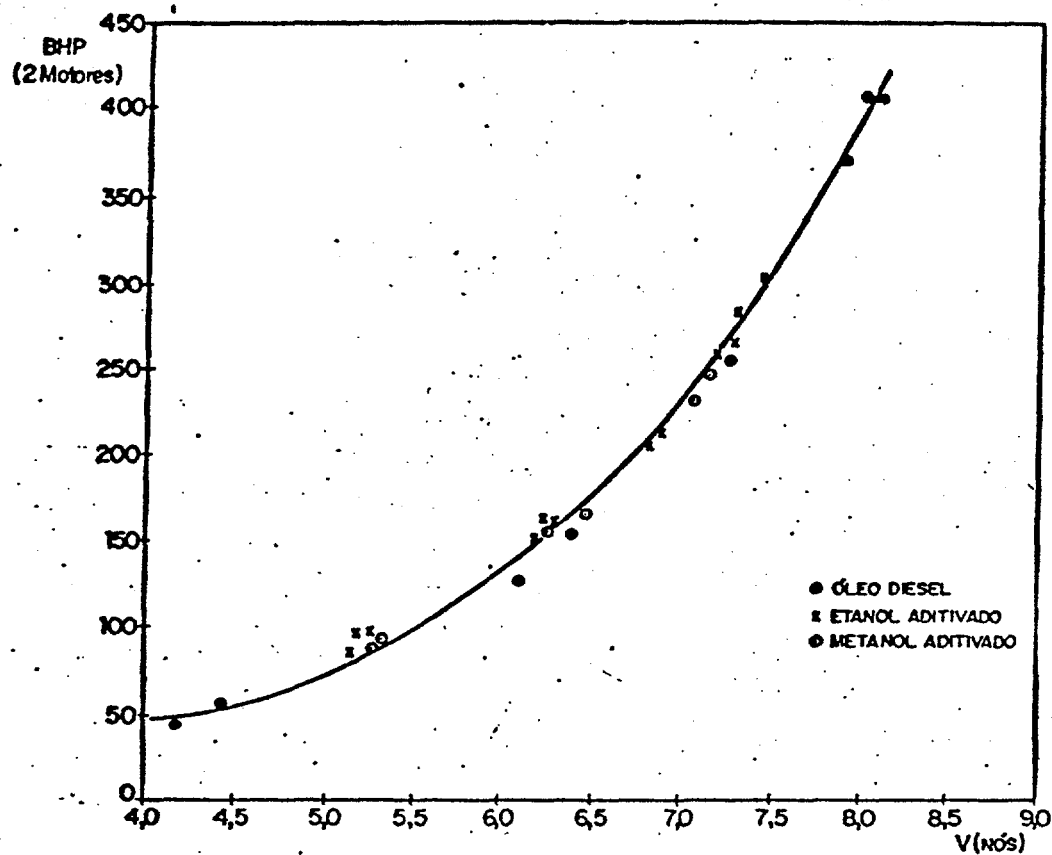


Figura 5 — CURVA DE BHP TOTAL x VELOCIDADE
DA EMBARCAÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS

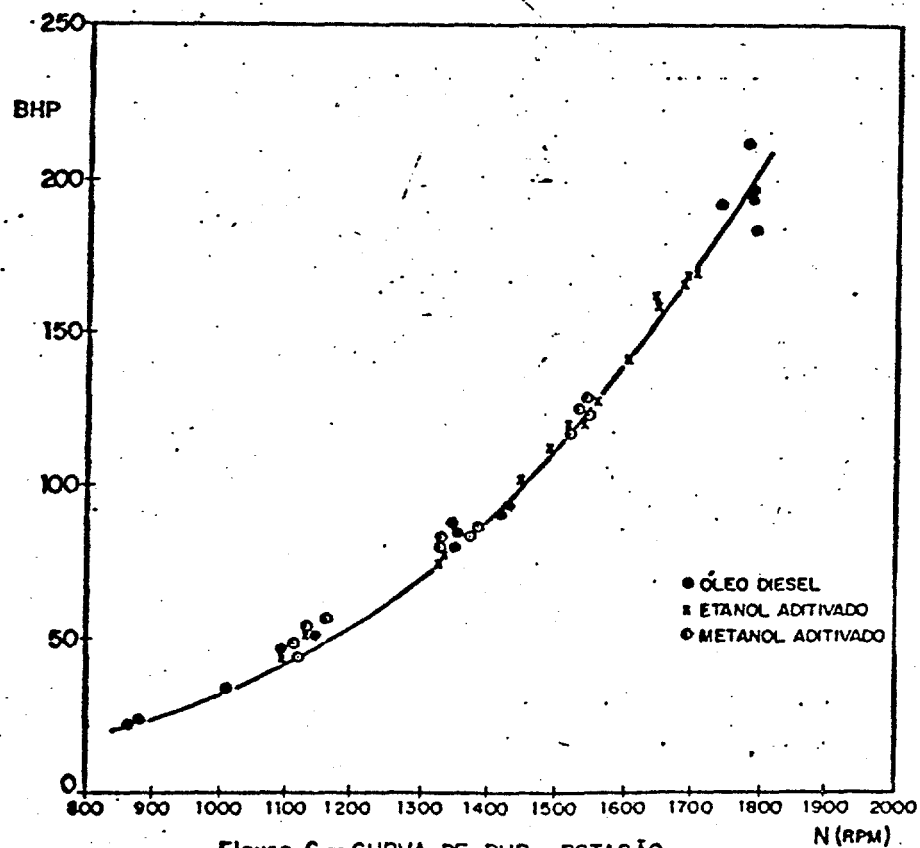
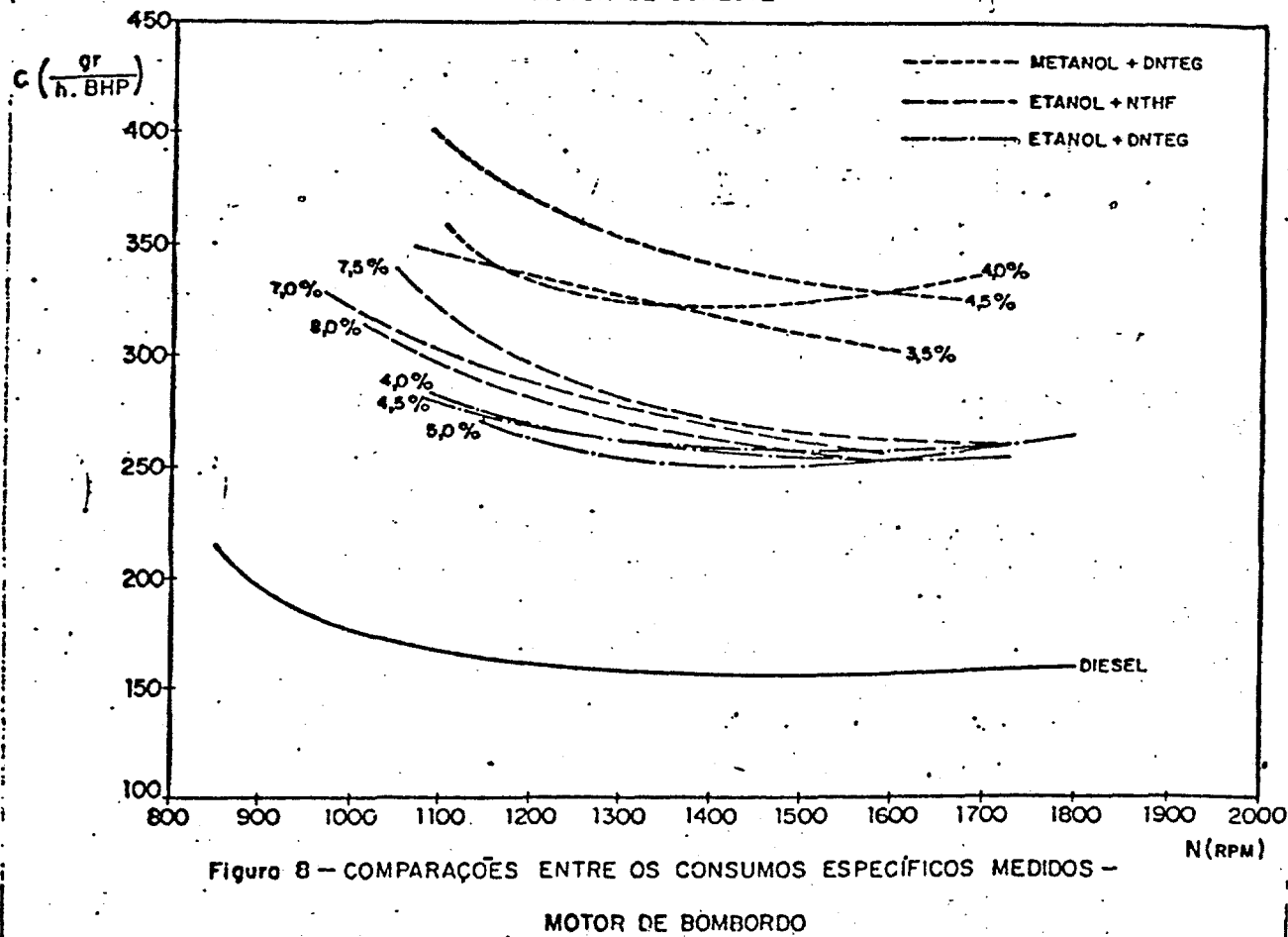
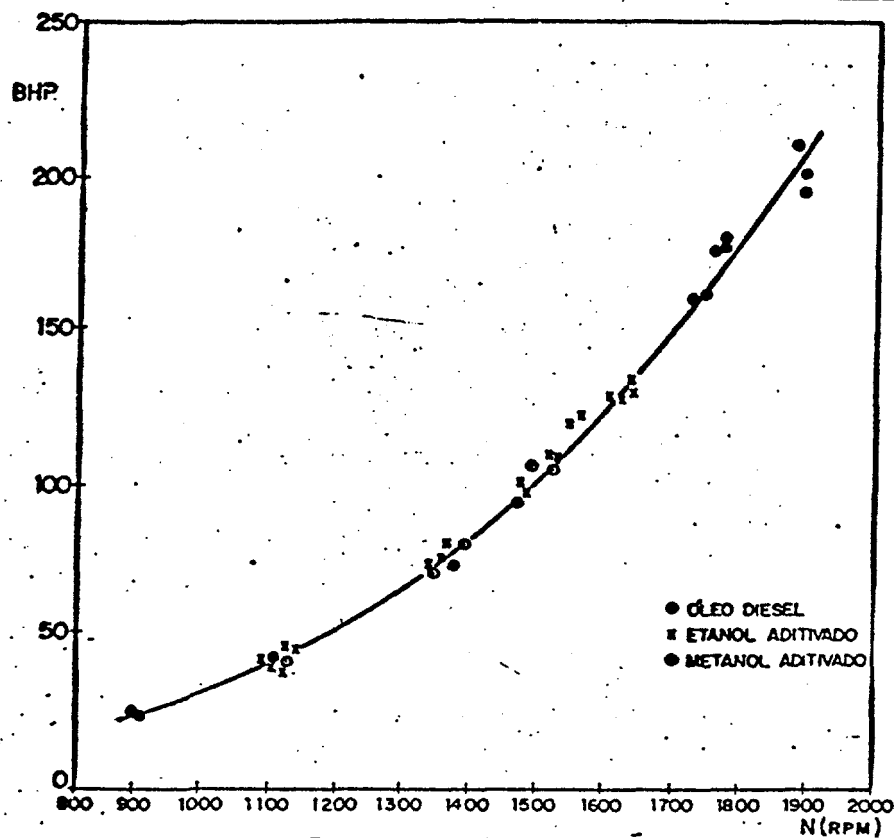


Figura 6 — CURVA DE BHP x ROTAÇÃO —
MOTOR DE BOMBORDO



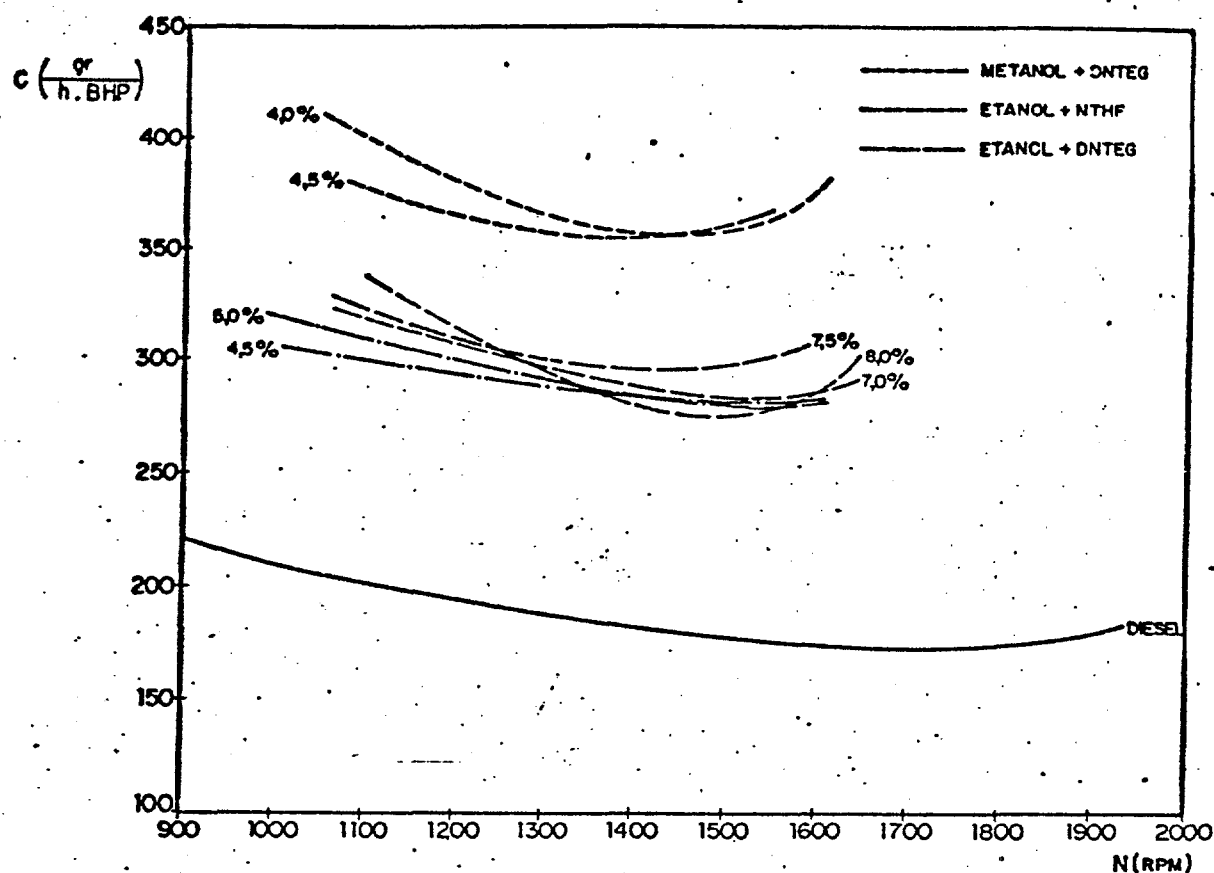


Figura 9 - COMPARAÇÕES ENTRE OS CONSUMOS ESPECÍFICOS MEDIDOS - MOTOR DE BORESTE

Tabela 2. Razões entre o Consumo Específico (Média dos 2 Motores) de cada Combustível e aquele obtido com Óleo Diesel.

ROTAÇÃO (RPM)	ETANOL						METANOL		
	4,5% DNTeg	4,5% DNTeg	5,0% DNTeg	7,0% NTHF	7,5% NTHF	8,0% NTHF	3,5% DNTeg (*)	4,0% DNTeg	4,5% DNTeg
1200	1,64	1,60	1,61	1,71	1,71	1,71	2,06	2,05	2,10
1400	1,62	1,62	1,60	1,65	1,69	1,65	2,02	2,02	2,08
1600	1,66	1,64	1,63	1,65	1,73	1,74	1,97	2,15	2,15

NOTA: (*) estimado consumo específico de BE para metanol + 3,5% DNTeg.

- Os consumos específicos medidos no motor de boreste foram maiores que aqueles do motor de bombordo, devido ao fato que as bombas injetoras dos dois motores foram reguladas diferentemente, o que é resultante da condição de ajuste de cada motor;

A média percentual do consumo a mais medida no motor de boreste foi de cerca de 13%;

- Os ensaios previstos com as várias composições dos combustíveis nos motores da CESP foram realizados apenas com a modificação no débito de combustível das bombas injetoras, forma mais simplificada de adaptação dos motores aos combustíveis.

Mesmo assim, os resultados de desempenho mostraram que a utilização de metanol e etanol aditivados em motores de óleo diesel modificados é tecnicamente viável, observando-se os seguintes efeitos:

- a) diminuição das potências máximas (e rotação fixa dos hélices) atingidas com o etanol e com o metanol (com este, menores ainda);
- b) aumento do consumo na relação média, em relação ao consumo de óleo diesel, de 1,65 para etanol aditivado e de 2,15 para metanol aditivado, em rotações iguais de 1600RPM.

7. ANÁLISE ECONÔMICA COMPARATIVA

A análise econômica realizada com os resultados obtidos no teste do comboio são resultados preliminares e não conclusivos uma vez que as adaptações realizadas nos motores foram adaptações simples no débito das bombas injetoras e que poderão ser bastante melhoradas na 2a. etapa dos testes, a ser realizada no decorrer do segundo semestre de 1985.

Para a análise comparativa desenvolveu-se um parâmetro técnico econômico, procurando-se incorporar aspectos de desempenho operacional e custos em uma mesma fórmula básica,

Em engenharia naval é tradicional o uso do fator:

$$M = \frac{D \cdot V^3}{g \cdot L \cdot \text{BHP}}$$

Adotando-se:

D = deslocamento da embarcação em toneladas

V = velocidade em km/h

L = comprimento da embarcação em m

BHP = brake horse power - potência medida

g = aceleração da gravidade em m/s²

Introduzindo-se o consumo específico dado pela razão de consumo de combustível por hora de operação e por BHP:

$$CE = \frac{\text{consumo por hora}}{\text{BHP}} = \frac{Co}{\text{BHP}}$$

E realizando as alterações necessárias obtêm-se:

$$CT = \frac{CE \cdot \text{BHP}}{\text{DWT} \cdot V} \times C$$

Onde o fator:

$$K = \frac{CE \cdot \text{BHP}}{\text{DWT} \cdot V} \cdot \frac{(g)}{(t \cdot km)}$$

Incorpora os resultados de desempenho medidas:

DWT= tonelagem Deadweight (deslocamento menos peso leve da em barcação)

CT = é o custo específico dado em Cr\$/t.km

C = é o custo do combustível por grama Cr\$/g incorporando-se a parcela do aditivo

Os resultados para condições características são dados na Tabela abaixo (valores monetários médios de fev/85):

	C Cr\$/g	CE g HP.h	K	CT Cr\$/t.km	FATOR COMPARATIVO
METANOL + 4% DNTEG	0,80*	348,5	7,26	5,81	0,94
DIESEL	1,39	157,5	4,44	6,20	1,00
ÁLCOOL + 4% DNTEG	1,22	272,0	6,70	6,70	1,08

* Fonte CESP = preços do METANOL

OBSERVAÇÕES:

- Os fatores comparativos não tiveram uma validade conclusiva nesta 1ª bateria de testes em vista das condições não ideais dos ensaios indicando, contudo, vantagens para os combustíveis alternativos mesmo no caso do álcool com 8% a mais no custo por tonelada-kilometro, uma vez que é preciso lembrar o fator multiplicativo do dólar retido no país para uma análise completa.
- Estão em curso projetos de pesquisa na CESP para obtenção de NTHF em melhores condições de preço final.
- A segunda bateria de testes será realizada no final deste ano, aprimorando-se as condições de contorno para realização dos mesmos.