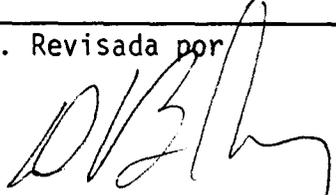
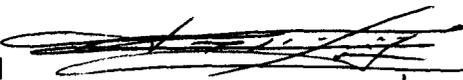


1. Publicação nº <i>INPE-2819-RA/174</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input type="checkbox"/> Externa <input checked="" type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DEN/DCP</i>	Programa <i>COMBUSTÃO</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>PROGRAMA DE COMBUSTÃO MICROPROPULSÃO ENERGIA</i>			
7. C.D.U.: <i>541.126</i>			
8. Título <i>ATIVIDADES E PESQUISAS REALIZADAS PELO PROGRAMA DE COMBUSTÃO ATÉ 30 DE JUNHO DE 1982.</i>		10. Páginas: <i>60</i>	
		11. Última página: <i>49</i>	
9. Autoria <i>Darcy das Neves Nobre</i>		12. Revisada por  <i>Demétrio Bastos Netto</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
14. Resumo/Notas <i>O presente trabalho tem por finalidade descrever as realizações do Programa de Combustão até 30 de junho de 1982, nos campos da pesquisa, engenharia e planejamento, a fim de que, no futuro, sejam feitas melhores interações com os diversos grupos de trabalho desse Instituto.</i>			
15. Observações			

ABSTRACT

The purpose of the present report is to describe the achievements of the Combustion Program up to June 1982, in the fields of research, engineering and planning, to encourage better future interaction with other work groups of this Institute.

...

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE SÍMBOLOS	vii
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Histórico	1
1.2 - Descrição sumária do programa	3
<u>CAPÍTULO 2 - DESCRIÇÃO DAS ÁREAS</u>	5
2.1 - Sistemas de Propulsão para satélites (projeto SIPROS)	5
2.1.1 - Jato de gás frio	5
2.1.1.1 - Desenvolvimento das atividades	7
2.1.1.2 - Resultados obtidos	10
2.1.1.3 - Variação do tempo de abertura e fechamento das válvulas	11
2.1.1.4 - Atividades Programadas para micropropulsão a gás frio	13
2.1.2 - Decomposição da hidrazina (monopropelente)	15
2.1.3 - Motor a bipropelentes	17
2.2 - Acústica e ionização da chama (projeto AICH)	20
2.2.1 - Instabilidade de combustão	20
2.2.2 - Propulsão pulsativa	24
2.2.3 - Propulsão por fluxo iônico na atmosfera	24
2.2.4 - Técnica de ignição em motores convencionais por centelha de alta energia	25
2.2.4.1 - Preparação da mistura ar-combustível	26
2.2.4.2 - Ignição	26
2.2.4.3 - Variáveis do problema	27
2.2.4.4 - Casos particulares	29
2.2.4.5 - Modificações efetuadas	32
2.2.4.6 - Desenvolvimento de equipamentos necessários à pesquisa	32
2.3 - Queima de biomassa e combustíveis alternativos (projeto BIOM)	32
2.3.1 - Combustor de leito fluidizado	33

	<u>Pág.</u>
2.3.2 - Estado atual	35
2.4 - Outras atividades	36
<u>CAPÍTULO 3 - INFRA-ESTRUTURA, EQUIPAMENTOS E PESSOAL</u>	39
3.1 - Infra-estrutura	39
3.2 - Equipamentos	42
3.3 - Pessoal qualificado	48
3.3.1 - Cooperação externa	49

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Laboratório de processos de combustão	2
2.1 - Fotografia do micromotor	6
2.2 - Representação esquemática da eletroválvula de pilotagem ...	6
2.3 - Variação do empuxo com a pressão na câmara	11
2.4 - Tensão de excitação da bobina	12
2.5 - Registro fotográfico de resultados	13
2.6 - Fotografia do regulador de pressão	14
2.7 - Fotografia de parte da plataforma móvel	15
2.8 - Laboratório de controle químico	17
2.9 - Laboratório de ensaios	19
2.10 - Sistema GC/MS	19
2.11 - Queimador em T	22
2.12 - Oscilações provenientes da instabilidade da combustão de propelentes sólidos	23
2.13 - Fotografia de um motor pulso-jato de pequeno empuxo	24
2.14 - Laboratório para estudos de propulsão a fluxo iônico	25
2.15 - Ciclo generalizado de um motor alternativo em coordenadas P - V	31
2.16 - Motor de teste	31
2.17 - Combustor de leite fluidizado	34
2.18 - Fotografia do dedo polegar de um dos nossos técnicos	37
2.19 - Fotografia de uma folha de lírio	37
2.20 - Fotografia da mão de um dos técnicos	38
3.1 - Prédio para pesquisadores	40
3.2 - Cúpulas	40
3.3 - Prédio de ensaios	41
3.4 - Paços para propelentes	41

LISTA DE SÍMBOLOS

a	- velocidade de som;
$A_b^{(i)}$	- parte imaginária da função admitância acústica na superfície de queima;
$A_b^{(r)}$	- parte real da função admitância acústica na superfície de queima;
A_o	- área da bobina;
A_e	- área de ejeção;
A_g	- área da garganta da tubeira;
C_f	- coeficiente de empuxo;
C_p	- calor específico à pressão constante;
C_v	- calor específico a volume constante;
D_p	- diâmetro das partículas (ft);
F	- empuxo;
F_g	- força magnética;
g	- aceleração da gravidade ($32,2 \text{ ft/s}^2$);
G_{mf}	- velocidade mássica superficial do fluido para fluidização mínima ($\text{lb/ft}^2 \cdot \text{seg}$);
I	- corrente da bobina;
L	- comprimento do queimador;
\dot{m}	- fluxo de massa;
M	- número de Mach;
M_b	- número de Mach na superfície de queima;
n	- número inteiro;

N	- número de espiras;
p	- pressão média;
p _c	- pressão na câmara;
p _e	- pressão de ejeção;
p _o	- pressão externa;
p _s	- pressão atmosférica no solo;
p _a	- pressão atmosférica;
p _{cic}	- pressão média do ciclo;
$r = \frac{V_z}{V_c}$	- razão de expansão preliminar com adição de calor, um processo à pressão constante;
$r' = \frac{V_b}{V_a} = \frac{V_f}{V_a}$	- pressão de expansão preliminar com rejeição de calor para a fonte fria à pressão constante;
R	- constante universal dos gases;
T	- temperatura;
u	- velocidade de gases;
u _g	- densidade de energia no entreferro
V	- velocidade;
V _g	- volume de entreferro;
V _x	- velocidade na direção x;
W	- frequência angular;
z	- coordenada axial
α _b	- constante de amortecimento;
α _g	- constante de crescimento;
φ	- permeância magnética;

ϕ_s	- fator de forma da partícula (adimensional);
ϵ_{mf}	- porosidade mínima para fluidização incipiente (adimensional);
$\lambda = \frac{Pz}{\dots}$	- aumento de pressão com adição de calor;
η_t	- rendimento térmico;
μ	- permeabilidade magnética do meio;
μ_f	- viscosidade do fluido (lb/ft.s);
ρ	- massa específica;
ρ_f	- densidade do fluido (lb/ft ³);
ρ_s	- densidade do sólido (lb/ft ³);
$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	- razão de calores específicos;
$\xi = \frac{V_a}{V_c}$	- razão de compressão.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - HISTÓRICO

Desde 1971 o INPE vem realizando estudos nas áreas de Propulsão e Combustão. Inicialmente as pesquisas foram de cunho teórico, em virtude da falta de um laboratório que proporcionasse facilidades experimentais nestas áreas.

A partir de 1975, deu-se início a construção do LABORATÓRIO DE PROCESSOS DE COMBUSTÃO NO INPE (Figura 1.1), com atividades desenvolvidas em estreita articulação com os Ministérios Militares e com o apoio financeiro da FINEP, graças a um importante evento que veio alterar os planos iniciais estabelecidos para o Programa de Combustão, no sentido de ampliar seus objetivos, suas facilidades experimentais e intensificar a programação inicialmente estabelecida.

Esse evento foi a constituição de uma Comissão Técnico-Científica, pelo Excelentíssimo Senhor Presidente da República e por indicação do Excelentíssimo Senhor Ministro Chefe do EMFA também Presidente da COBAE, para especificar o funcionamento e a programação da implantação de um Laboratório de Combustão que fosse capaz de efetivamente colaborar com o governo e a indústria, na pesquisa, no desenvolvimento e na análise de sistemas de Combustão.

Com base nas conclusões da Comissão Técnico-Científica, foi encaminhada à FINEP uma proposta de financiamento com o objetivo de obter recursos para instalar um Laboratório de Combustão em Cachoeira Paulista, o qual deveria ser implantado e operado pelo INPE.

O II PBDCT reconheceu, entre vários, a existência de dois objetivos básicos a serem alcançados com o cumprimento das atividades nele previstas.

- a) Desenvolvimento de uma infra-estrutura básica de engenharia aeroespacial no campo da Propulsão.
- b) Minimização de problemas ligados à atual crise energética.

Entre as atividades relacionadas com estes objetivos, o II PBDCT mencionou, como projeto prioritário, a implantação e a operação de um laboratório de Processos de Combustão, cabendo ao INPE o planejamento, a construção e a operação, em articulação com os Ministérios Militares e com a participação de quaisquer entidades, públicas ou privadas, que eventualmente estejam interessados na utilização de suas facilidades.

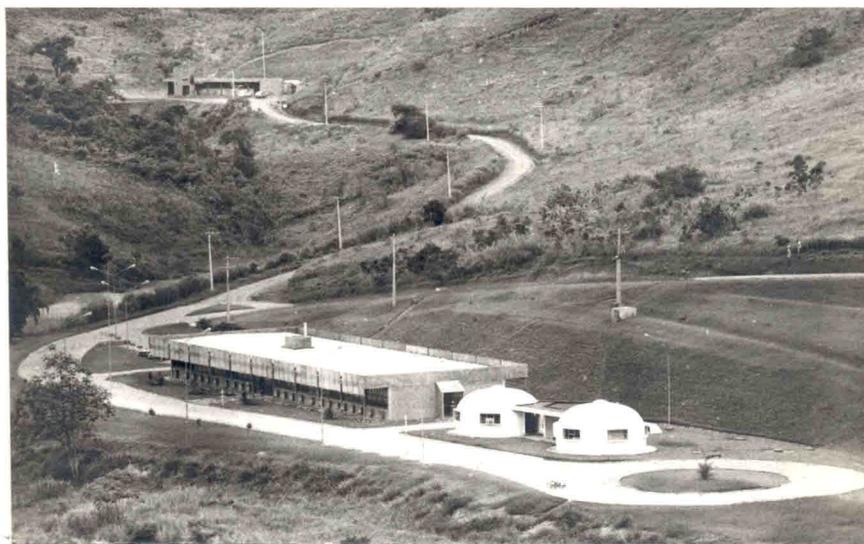


Fig. 1.1 - Laboratório de processos de combustão.

Para cumprir o previsto pelo II PBDCT, o INPE criou a DI
VISÃO DE PROCESSOS DE COMBUSTÃO (Figura 1.1) que, além de outras ativi
dades serve de sustentáculo experimental e tecnológico para as ativida
des de pesquisa do PROGRAMA DE COMBUSTÃO DO INPE.

1.2 - DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO PROGRAMA

O Programa de Combustão visa a pesquisa básica e tecno
lógica em Processos de Combustão nas áreas de Propulsão, Acústica, Ioni
zação de Chamas, Queima de Biomassa e Combustíveis Alternativos.

Em Propulsão, desenvolvem-se sistemas propulsivos a jato de gás frio com 1 newton de empuxo e estuda-se o desenvolvimento de um sistema, também propulsivo, a decomposição catalítica da hidrazina, para 15 newtons de empuxo, ambos gás frio e decomposição de hidrazina são sistemas que se destinam, principalmente, ao controle de atitude de satélite. Em fase incipiente, visando no futuro competência em con
trole de órbita, pretende-se desenvolver motores a bipropelentes líqui
dos para 400 newtons de empuxo, usando-se pares hipergólicos.

Em Acústica e Ionização de Chamas, pesquisam-se instabi
lidades na combustão de propelentes sólidos. Para tal, desenvolveu-se um queimador em T e uma bomba para velocidade de queima. Pesquisam-se ainda a técnica de ignição em motores convencionais de combustão inter
na por centelha de alta energia, a fim de melhorar as condições de queima e obter um maior desempenho, com conseqüente aumento de econo
mia e diminuição da poluição. Estudam-se, experimentalmente, propulso
res a fluxo iônico na atmosfera.

Em Queima de Biomassa e Combustíveis Alternativos, desen
volem-se e otimizam-se combustores do tipo leito fluidizado para maior eficiência na queima de carvão mineral e outros, bem como para a determinação da taxa de produção de biogás, a partir da utilização
de diversas biomassas.

Paralelamente, foi implantado no computador Burroughs 6700, do INPE, hoje computador Burroughs 6800, um programa da NASA para prever, quantitativamente, o resultado de uma combustão, quer a volume ou a pressão constante, que fornece dados para o dimensionamento de um expensor adiabático; programa esse implantado para a determinação do grau de ionização dos produtos da reação.

Na parte acadêmica, dentro do Curso de Ciência Espacial (que possui vários professores ao nível de Ph.D.) foi estruturada a opção Propulsão e Combustão, que já formou oito mestres, dos quais dois estão atualmente na Divisão de Processos de Combustão.

Do pessoal alocado nessa Divisão, dois estão no exterior (Georchia Tech - USA) cursando o doutoramento; um deles em fase final. Três estão cursando o mestrado; dois deles em fase de dissertação.

Até recentemente o grupo contou com a cooperação valiosa do Dr. José Pantuso Sudano e do Dr. Luiz Alberto Vieira Dias; este último, nos três anos em que chefiou a Divisão de Processos de Combustão não mediu esforços para que ela pudesse cumprir a sua finalidade.

Ainda ao grupo é acrescida a formação e a experiência de alto nível de dois assessores, o Dr. Demétrio Bastos Netto (IPqM) e o Dr. Ben T. Zinn (Georgia Tech - USA). Esses dois pesquisadores de reconhecida capacidade profissional propiciam ao Programa a complementação necessária para estabelecer boas condições de orientação de trabalhos e pesquisas nas áreas acadêmicas, experimental e tecnológica da combustão.

CAPÍTULO 2

DESCRIÇÃO DAS ÁREAS

2.1 - SISTEMAS DE PROPULSÃO PARA SATÉLITES (PROJETO SIPROS)

Esta área foi criada para o desenvolvimento, a construção e os testes de sistemas eletromecânicos com ou sem combustão, os quais se destinam ao controle de atitude e de órbita de satélites. Embora estes sistemas já estejam operacionais em vários países, acredita-se que o desenvolvimento em termos nacionais abrirá fronteiras, reduzindo sua importação e seu custo.

2.1.1 - JATO DE GÁS FRIO

Objetivando-se o desenvolvimento de um micromotor a gás frio (nitrogênio pressurizado) foi construído um protótipo de uma eletroválvula de pilotagem (Figura 2.1); trata-se de uma válvula de comando eletromagnético com subsequente expansão do gás em Tubeira de Laval (Figura 2.2).

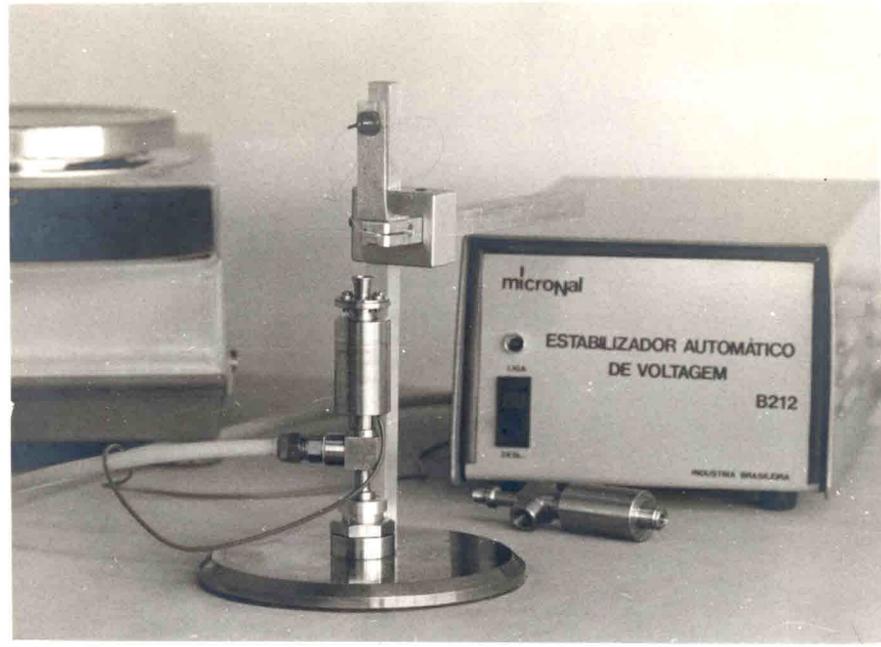


Fig. 2.1 - Fotografia do micromotor.

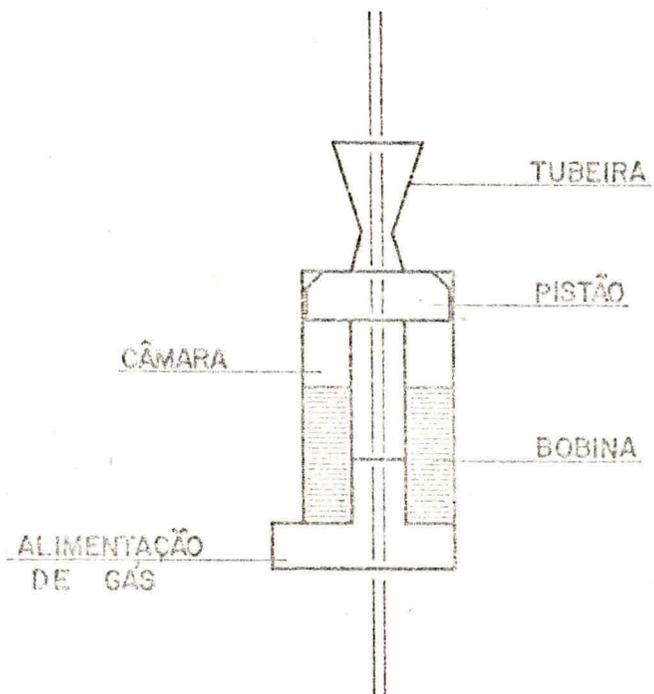


Fig. 2.2 - Representação esquemática da eletroválvula de pilotagem.

2.1.1.1 - DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

O projeto inicial visou a obtenção de motores com empuxos da ordem de 1 newton, que operem em altitudes em torno de 300 Km. O tempo de abertura e de fechamento esperados devem ficar próximos a 5 ms.

Entretanto, com a finalidade de facilitar a verificação dos resultados, as primeiras tuberias foram dimensionadas a fim de permitir testes no solo à pressão ambiente.

O estudo de um expensor é bastante complexo e algumas hipóteses simplificadoras fazem-se necessárias. Considerando-se o caso de fluxos aproximadamente unidirecionais sem perdas, em estado químico invariante e admitindo-se ainda funcionamento adiabático, as equações fundamentais podem ser escritas da seguinte forma:

$$d(\rho v A) = 0 \quad \text{Continuidade}$$

$$d(\rho v^2 A) + A dp = 0 \quad \text{Quantidade de Movimento}$$

$$d(c_p T_{\text{Tot}}) = d\left[c_p T \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)\right] \quad \text{Energia}$$

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad \text{Equação de estado}$$

O empuxo em uma tuberia é dado pela expressão:

$$F = \int_{A_e} v_x \dot{dm} + (p_e - p_o) A_e$$

Desenvolvendo e simplificando esta expressão chega-se a:

$$F = p_c A_g \left\{ \Gamma \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_e}{p_c} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} + \frac{A_e}{A_g} \left[\frac{p_e}{p_c} - \frac{p_o}{p_c} \right] \right\}$$

onde:

$$\Gamma = \sqrt{\gamma} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

ou ainda, definido o coeficiente de empuxo C_f como:

$$C_f = \Gamma \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_e}{p_c} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} + \frac{A_c}{A_g} \left(\frac{p_e}{p_c} - \frac{p_o}{p_c} \right),$$

tem-se que o empuxo pode ser calculado por:

$$F = P_c A_g C_f.$$

Uma breve inspeção na fórmula acima leva à conclusão de que a condição de expansão ótima dar-se-á no caso de:

$$\frac{d C_f}{d \frac{p_c}{p_e}} = 0,$$

ou seja:

$$p_c = p_o.$$

Em outra fase construiu-se uma bobina de comando para a válvula, parâmetros principal para alcançar os tempos de abertura e fe

chamento requeridos. A densidade de energia no entreferro foi obtida pela expressão:

$$u_g = \frac{\partial U}{\partial V_g} = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{N I \phi}{A_o} \right)^2 .$$

A força magnética atuante no pistão da eletroválvula é dada por:

$$F_g = \frac{\partial U}{\partial g} = \mu . A .$$

Logo, obtêm-se a equação:

$$F_g = \frac{(N I \phi)^2}{2\mu A_o g} ,$$

sendo que esta deve igualar-se à força exercida no pistão, devido à diferença de pressão entre o interior da câmara e a atmosfera.

Nos testes preliminares foram constatados vazamentos de gás, pouca duração das bobinas e a necessidade de reformulação dos instrumentos de medição, uma vez estes interferiam nos resultados.

Foi construído o segundo protótipo, no qual foram introduzidas modificações de ordem técnica. Paralelamente, diversas companhias especializadas em processos de medição foram consultadas, a fim de ser adquirido instrumental confiável para os testes do referido motor. Enquanto eram aguardadas as respostas das firmas concernentes, foi iniciado um novo projeto do sistema de medição. Ênfase maior foi dada a tal estudo a partir da constatação da inexistência, no mercado, de um produto, nacional ou disponível, capaz de preencher os requisitos.

Atualmente, tem-se a aparelhagem desenvolvida nesse laboratório, que permite condições de uso satisfatório, mas que ainda pode ser aprimorada.

Para o comando do micromotor foi desenvolvido um circuito de disparo. O ciclo de trabalho, o tempo e a voltagem de excitação da bobina podem então ser controlados. O circuito fornece também sinais de referência, o que facilita a verificação dos tempos de abertura e fechamento do motor; um amplificador diferencial de ganho regulável foi acoplado ao conjunto, para trabalhar com os instrumentos de medição.

2.1.1.2 - RESULTADOS OBTIDOS

Uma vez montado todo esquema de testes, foram realizadas algumas experiências.

Com a finalidade de comparar os resultados experimentais foram levantados dados relatados na Tabela 2.1, bem como na Figura 2.3, os quais relacionam vários valores de pressão na câmara com o empuxo esperado.

TABELA 2.1

OPERAÇÃO DA TUBEIRA SOLO - PS = 0,952 bar.

PRESSÃO NA CÂMARA (bar)	EMPUXO TEÓRICO (N)	EMPUXO MEDIDO (N)
1,0	0,067	0,277
2,0	0,498	0,628
2,5	0,698	0,845
3,0	0,903	1,096
3,5	1,110	1,336
4,0	1,320	1,562
5,0	1,748	2,100

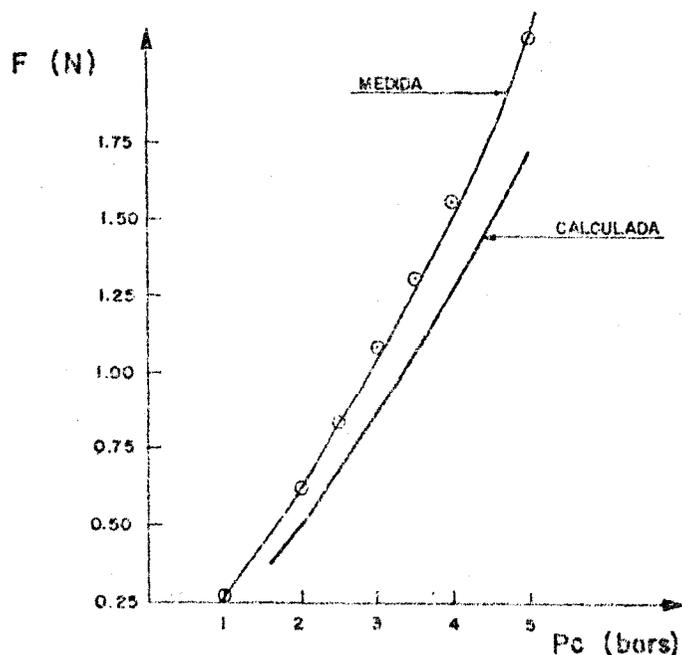


Fig. 2.3 - Variação do empuxo com a pressão na câmara.

2.1.1.3 - VARIAÇÃO DO TEMPO DE ABERTURA E FECHAMENTO DAS VÁLVULAS

Observou-se que o tempo de abertura depende sensivelmente da voltagem de excitação e da pressão na câmara. Entretanto, verificou-se que o tempo de fechamento foi pouco influenciado pela voltagem de excitação, dependendo basicamente da pressão da câmara.

A Figura 2.4 mostra a curva de variação dos tempos de abertura com a excitação da bobina mantendo fixa a pressão na câmara.

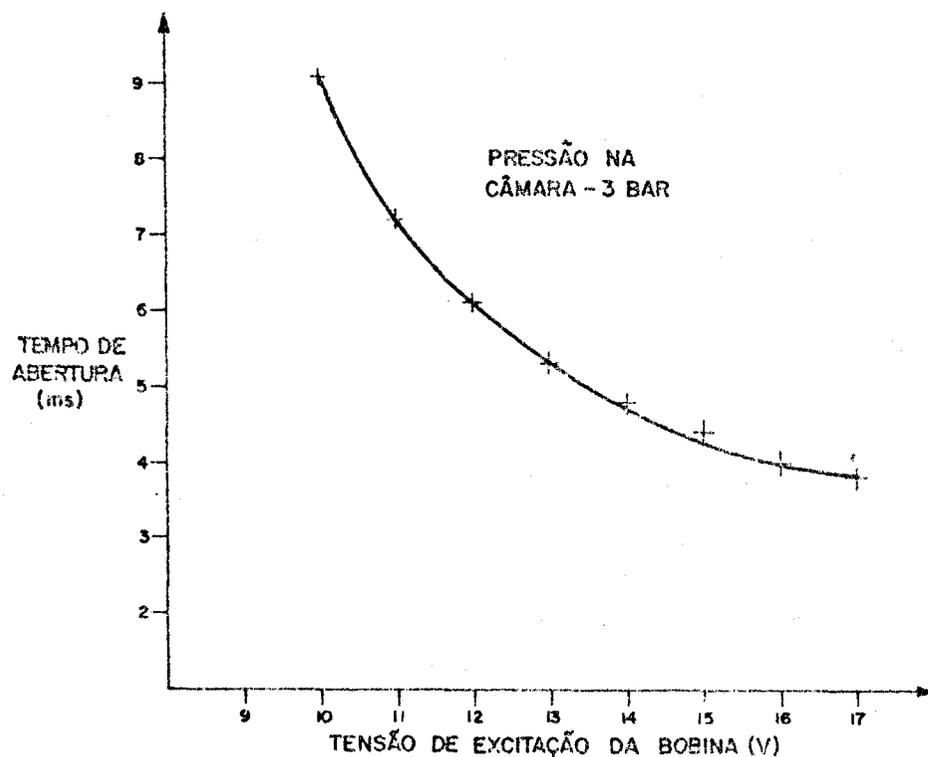


Fig. 2.4 - Tensão de excitação da bobina.

No desenvolvimento dos testes notaram-se sinais de desgaste na válvula, ocorrendo falhas de vedação e obrigando, com isto, a suspensão das experiências. Na Figura 2.5, vê-se um registro fotogr^áfico do resultado de uma experiência.

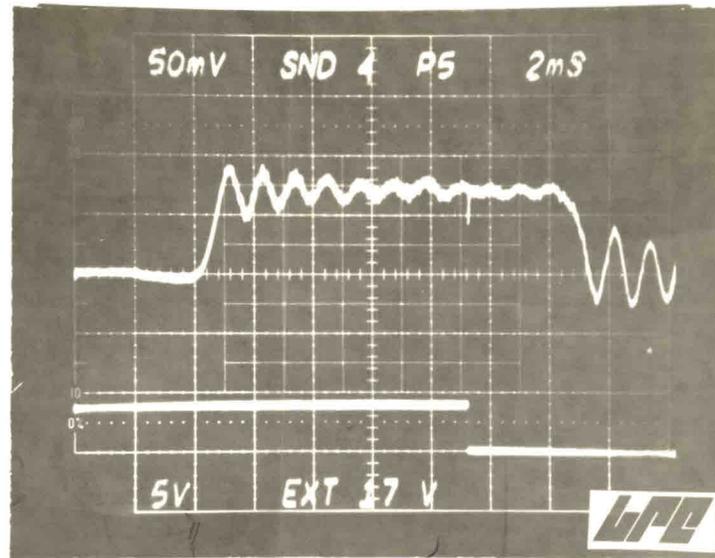


Fig. 2.5 - Registro fotográfico de resultados.

2.1.1.4 - ATIVIDADES PROGRAMADAS PARA MICROPROPULSÃO A GÁS FRIO

- 1) Aprimoramento da bancada de testes.
- 2) Modificao do circuito de comando a fim de reduzir ruídos.
- 3) Aumento na voltagem de excitao da bobina.
- 4) Confeco de novas sedes para a eletroválvula.
- 5) Testes do motor, destacando-se:
 - a) verificao da demanda de gás;
 - b) teste de durabilidade e confiabilidade;
 - c) teste de tubeira de altitude em câmara de vácuo.

De acordo com os resultados obtidos, deverão ser introduzidas modificações, visando especialmente a redução do peso do protótipo.

Um regulador de pressão e um reservatório de gás complementam o sistema de propulsão a gás frio. Quanto ao primeiro, foi construído um protótipo inicial (Figura 2.6), o qual apresentou problemas de vedação e de molas. O segundo protótipo encontra-se em fabricação e o projeto já está pronto. Planeja-se utilizar fole metálico, com o que se acredita ser possível sanar os problemas de vedação, bem como aqueles associados às molas.

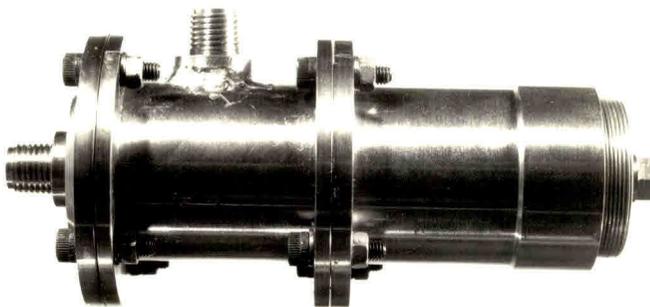


Fig. 2.6 - Fotografia do regulador de pressão.

O reservatório de gás atualmente utilizado é um recipiente esférico apropriado, cedido pelo INSTITUTO DE PESQUISA DA MARINHA (IPqM).

Durante o penúltimo trimestre, fez-se a mudança do Laboratório de Gás Frio para um local mais amplo, incluindo-se instalação elétrica adequada.

Desenvolveu-se, nesse Laboratório, uma plataforma móvel (Figura 2.7), suspensa ao teto, para análise experimental do sistema e preparação dos testes que serão feitos futuramente em balões na alta atmosfera.

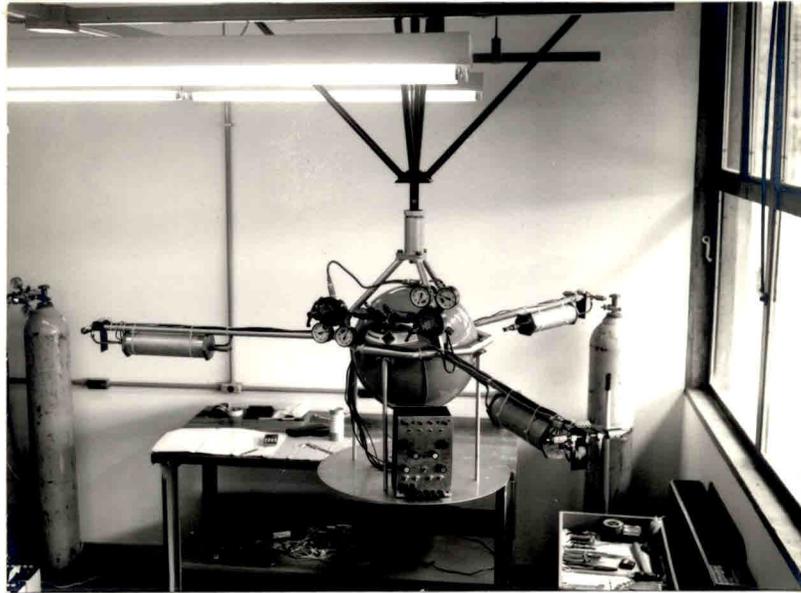


Fig. 2.7 - Fotografia de parte da plataforma móvel.

2.1.2 - DECOMPOSIÇÃO DE HIDRAZINA (MONOPROPELENTE)

Esta atividade encontra-se em fase inicial; entretanto, desenvolveu-se, em prancheta, o anti-projeto do motor teste, faltando ainda as definições quanto à câmara, obtenção de hidrazina anidra e catalisador.

O suporte do catalisador utilizado neste projeto compõe-se de alumina (Al_2O_3) do tipo gama ou eta, que correspondem à pseudo boemita e a boemita. Tais tipos são normalmente escolhidos em virtude de apresentarem superfície específica de 200 a 350 $m^2 g^{-1}$ e um volume poroso que varia de 0,41 a 1,2 $cm^3 g^{-1}$, dependendo da razão de precipitação, enquanto outros tipos de alumina apresentam no máximo

150 m² g⁻¹ de superfície específica e no máximo 0,4 cm³ g⁻¹ de volume poroso.

Para tal obtenção, são utilizados sais de alumínio (cloreto, nitrato e sulfato, entre outros) que reagem com hidróxidos de amônia saturados com CO₂, mantendo-se um controle rigoroso do potencial de hidrogenação e da temperatura durante e após a precipitação.

O produto de reação é então filtrado a vácuo, lavado até a ausência de íons cloreto e secado a vácuo a 120°C por 16 horas. Após este tempo, ele é calcinado em atmosfera controlada a 480°C. O sistema é hidratado, e repetem-se as operações de secagem e calcinação, mantendo-se invariados os outros parâmetros envolvidos. O suporte é então briquetado em grãos uniformes e peneirados para 80 mesh.

Durante as fases de fabricação de alumina, são efetuados controles de pureza; é admissível um máximo de 10 ppb de metais como sódio, ferro e cálcio.

Na preparação do catalisador, a adição de metal em um suporte pode ser feita por co-precipitação, por impregnação e por troca iônica.

O processo escolhido foi o de impregnação. As partículas de alumina são, neste processo, impregnadas por uma solução 2 N de hexacloreto de irídio. Procede-se então a uma redução, em atmosfera de hidrogênio seco a 400°C por 8 horas, após o qual é feita uma passivação em atmosfera de nitrogênio seco por 4 horas. Faz-se então a ativação do catalisador, injetando-se 3 ppb de oxigênio. O processo é repetido tantas vezes quanto necessário, sendo exclusivamente função da concentração de irídio desejada no catalisador.

Para a referida preparação podem ser usadas as facilidades do Laboratório Químico (Figura 2.8) da Divisão de Processos de Combustão.

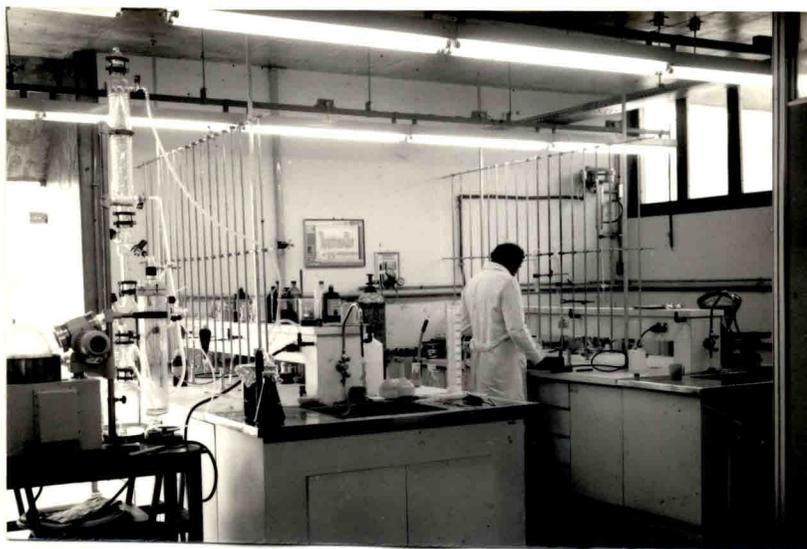


Fig. 2.8 - Laboratório de controle químico.

2.1.3 - MOTOR A BIPROPELENTES

O estudo de bipropelente destina-se ao levantamento de dados para projeto de motores de propulsão líquido de pequeno porte (empuxos na faixa de 400 newtons).

Em sua programação procurou-se levar em conta fatores de bom senso, tais como disponibilidade, no mercado, das substâncias utilizadas ou quando isso não for possível, substâncias de tecnologia de produção acessível. Preocupa-se, também, em trabalhar com pares hipergólicos, visando a eliminação de dispositivos de reacendimento e dos respectivos sistemas de controle. Dessa maneira concentram-se atenções sobre o ácido nítrico e o tetróxido de nitrogênio (oxidantes), e sobre aminas alifáticas e aromáticas (combustíveis).

Para conseguir os objetivos projetados, dividem-se os estudos nas seguintes etapas:

- 1) Projeto e montagem da linha de alimentação para o banco de testes.
- 2) Estudos qualitativos preliminares.
- 3) Seleção e otimização de pares hipergólicos (testes químicos).
- 4) Estudos complementares sobre os pares homologados.
- 5) Estudo dos dados obtidos e reavaliação da pesquisa.

No momento, inicia-se a primeira etapa, da qual já se conseguiram resultados bastante positivos. Começa-se também, a segunda etapa com, a montagem de um banco de testes para injetores, para medidas de empuxo.

As etapas 3 e 4 estão em fase de implantação e homologações experimentais, com previsão de andamento operacional para o primeiro semestre de 1983.

Para realização destes estudos, conta-se com as facilidades do Laboratório de Química e do Laboratório de Ensaios (Figura 2.9) da Divisão de Processos de Combustão.

Nestes Laboratórios já se dispõe de parte do instrumental analítico necessário, dos quais se destacam: um sistema de acoplamento CG/MS (Figura 2.10), constituído de um computador 21 MX e um cromatógrafo de gás com facilidades para análises com colunas, uma bomba calorimétrica e um sistema para amostragem e análise de gases de exaustão, além de "bunkers" para ensaios com motores, com as respectivas facilidades de controle à distância.

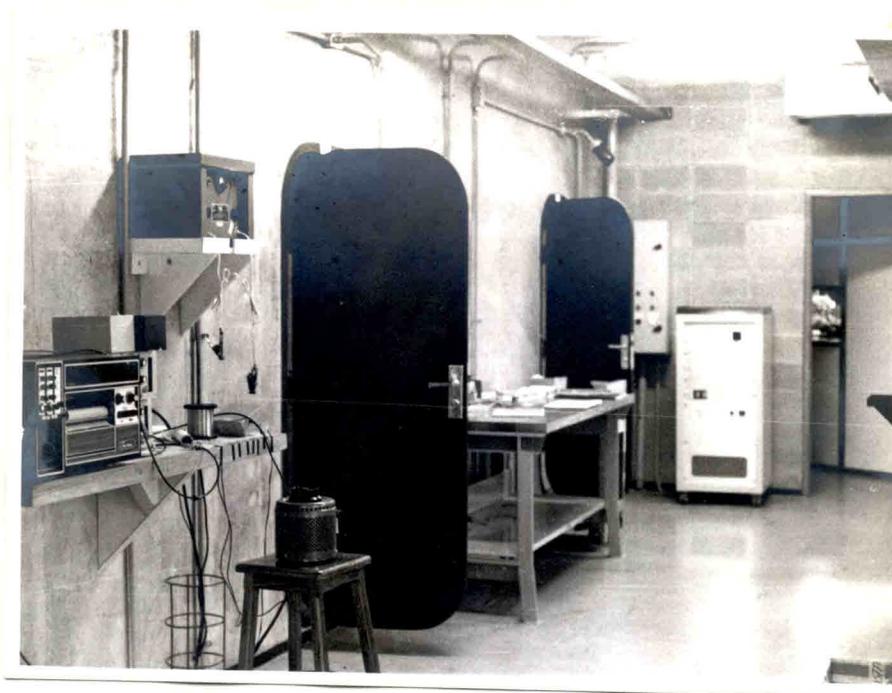


Fig. 2.9 - Laboratório de Ensaios.

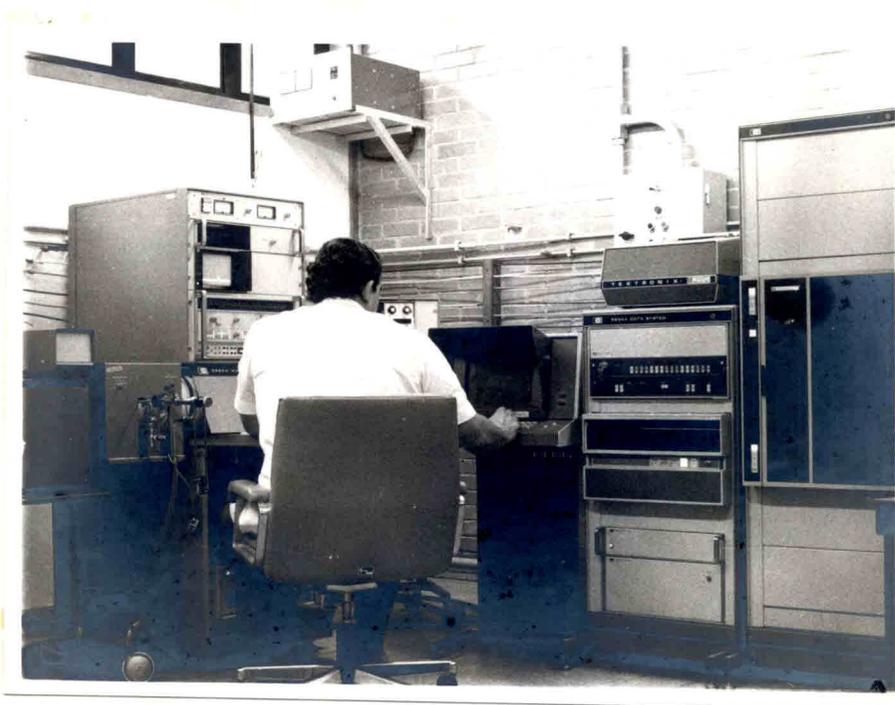


Fig. 2.10 - Sistema GC/MS.

2.2 - ACÚSTICA E IONIZAÇÃO DA CHAMA (PROJETO AICH)

2.2.1 - INSTABILIDADE DE COMBUSTÃO

Desenvolvem-se equipamentos com a finalidade de determinar admitâncias acústicas e funções respostas de propelentes sólidos, que determinam o comportamento desses propelentes na presença de flutuações de pressão. Este é um fator de real importância para um diagnóstico adequado e motores de foguetes com propelente sólido.

Basicamente, um propelente sólido do tipo "composite" consiste em uma resina polimerizada (Re), que tem como carga principal o perclorato de amônio (AP) e um metal em pó, normalmente o alumínio (Al).

O tipo de resina, a granulometria do AP, a temperatura e o tempo de polimerização, o tipo de metal adicionado sua granulometria e as percentagens da composição do propelente são parâmetros importantes para as determinações das características tanto mecânicas e químicas, quanto termodinâmicas do propelente.

O estudo da instabilidade da combustão visa determinar a admitância acústica e a função resposta do propelente, a fim de que se tenha os parâmetros necessários para o projeto de motores.

A partir das equações de conservação da massa, de momento e de energia, e utilizando-se condições de contorno apropriadas, obtêm-se as equações básicas unidimensionais do queimador em T, que relacionam as constantes de crescimento e de amortecimento à função admitância acústica do propelente.

EQUAÇÕES DE CONSERVAÇÃO (escoamento unidimensional, não viscoso).

Conservação de Massa:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} (\rho u) = 0 .$$

Conservação de Momento:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial p}{\partial z} = 0 .$$

Conservação de Energia:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho u c_p \frac{\partial T}{\partial z} - \frac{\partial p}{\partial z} = 0 .$$

Equações básicas para o Queimador em T:

$$\left(\frac{W L}{a} \right)^2 = (n \pi)^2 + 4 n \pi A_b^{(i)} ,$$

$$\frac{\alpha L}{a} = 2 (A_b^{(r)} + M_b) - \frac{\alpha_b L}{a} .$$

Desenvolveu-se na Divisão de Processos de Combustão um queimador em T, Figura 2.11, que tendo comprimento variável, permite a obtenção de várias faixas de frequência.

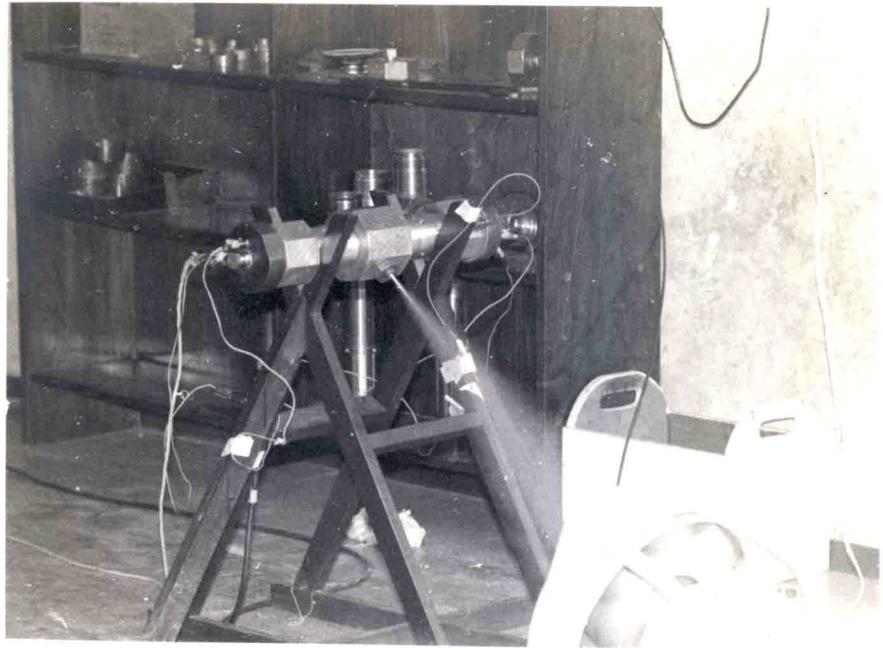


Fig. 2.11 - Queimador em T.

Nos testes iniciais foram utilizados transdutores do tipo "strain-gage" para medir a pressão média alcançada no queimador, o que permitiu que os diâmetros das gargantas das tubeiras fossem definidos em relação ao comprimento do tubo utilizado.

O sistema de ignição foi aprimorado e diversos tipos de pastas ignitoras foram desenvolvidas.

Os transdutores "strain-gage", entretanto, não respondem bem a pequenas flutuações de pressão, não sendo, portanto, o ideal para registrar instabilidades na combustão.

A utilização de transdutores piezelétricos no sistema foi, portanto, a solução que permitiu o registro das instabilidades. Para tal desenvolveram-se filtros passa-alta, passa-baixa, passa-faixa e rejeita-banda, e importaram-se amplificadores de carga, compatíveis com o sistema de registro para os transdutores piezelétricos existentes.

O uso dos filtros proporcionará curvas conforme pode-se ver na Figura 2.12, através das quais pode-se medir a frequência das oscilações e suas constantes de crescimento e de amortecimento que são tão diretamente ligadas à função admitância acústica, onde:

$$\alpha = \alpha_g - \alpha_d .$$

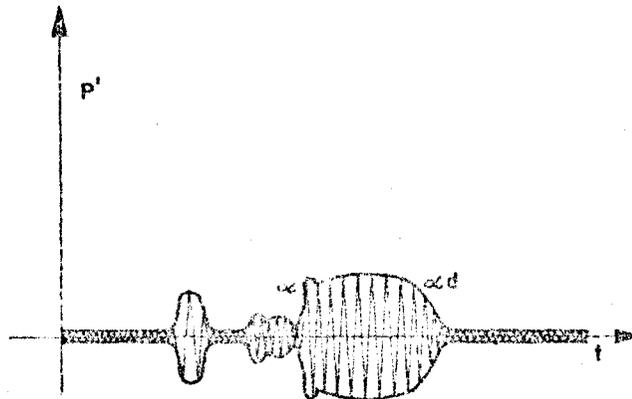


Fig. 2.12 - Oscilações provenientes da instabilidade da combustão de propelentes sólidos.

Medidas da velocidade de queima do propelente sólido fornecem parâmetros para o cálculo da admitância acústica, pois esta está ligada ao número de Mach na superfície de queima. Para tal, desenvolveu-se uma bomba de velocidade de queima com uma válvula especial, reguladora de pressão, que possibilitará as medidas das velocidades de queima em diversas pressões.

Em uma próxima etapa, adaptar-se-á um tanque de pressão ao queimador existente, a fim de que se possa diagnosticar o propelente a pressões mais altas.

Para o futuro serão também desenvolvidas, além de queimadores do tipo L*, outros, para medidas de características magnetoacústicas.

2.2.2 - PROPULSÃO PULSATIVA

Desenvolve-se a partir de um pequeno protótipo de pulso-jato já existente (Figura 2.13) um outro, para empuxo da ordem de 40 Kgf, com a finalidade de servir como motor impulsor de aviões-alvis.

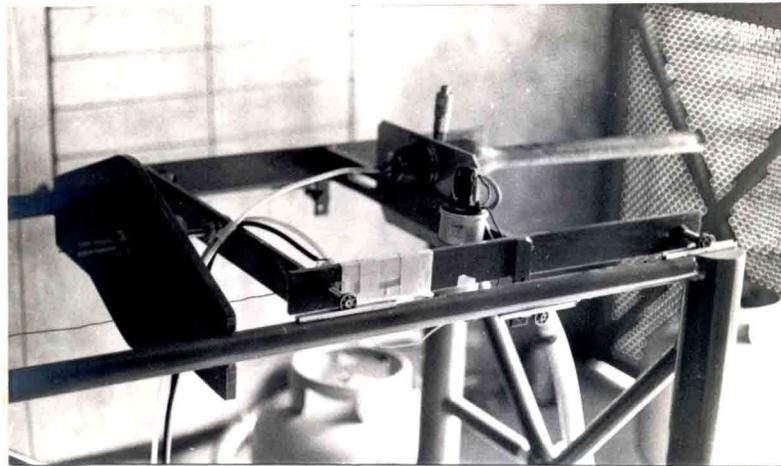


Fig. 2.13 - Fotografia de um motor pulso-jato de pequeno empuxo.

No momento pesquisa-se o sistema de membranas metálicas, feitas por foto estampagem, que serão usadas como válvulas de alta frequência, as quais são elemento de grande importância para o funcionamento adequado do motor pulso-jato.

2.2.3 - PROPULSÃO POR FLUXO IÔNICO NA ATMOSFERA

Estuda-se experimentalmente um sistema de propulsão que usa descargas iônicas de alta tensão na atmosfera, através de pontas e de grades separadas por diversos tipos de dielétricos. Até o momento têm-se obtido bons resultados (empuxo da ordem de 10% do peso do protótipo).

Estudam-se, de uma maneira empírica, formulações ligadas a cada tipo do protótipo, com a finalidade de determinar similitudes com outros de maior porte. Para isso usa-se um laboratório (Figura 2.14), de uma certa maneira improvisada, para obter alta tensão e ionização.

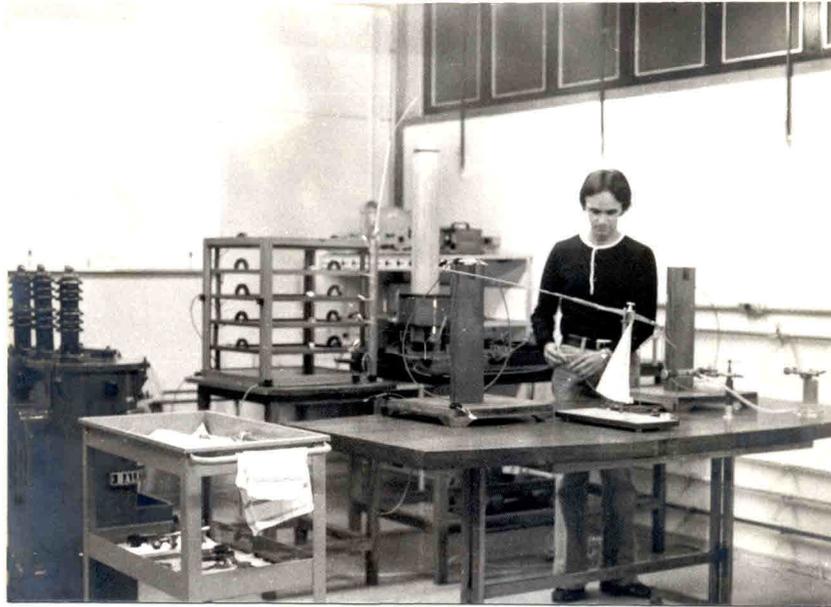


Fig. 2.14 - Laboratório para estudos de propulsão a fluxo iônico.

2.2.4 - TÉCNICA DE IGNIÇÃO EM MOTORES CONVENCIONAIS POR CENTELHA DE ALTA ENERGIA

Este trabalho tem por objetivo estudar e elaborar a técnica de ignição, em motores convencionais, por centelha de alta energia.

O domínio desta técnica possibilitará a queima de mistura ar-combustível pobre, com conseqüente economia de combustível.

Para tanto desenvolveu-se, na Divisão de Processos de Combustão, um dispositivo eletrônico com o qual obtêm-se centelhas da ordem de 20 mm a 3000K e 1 atm.

Esse dispositivo foi adaptado a um motor VW convencional. Modificaram-se as velas de ignição, a taxa de compressão e a posição geométrica da centelha, para verificação dos limites práticos de funcionamento do motor. Isto foi feito levando-se em consideração o limite de pobreza da mistura ar-combustível, a taxa de compressão, a potência e o conteúdo de elementos tóxicos nos gases de exaustão.

2.2.4.1 - PREPARAÇÃO DA MISTURA AR-COMBUSTÍVEL

A dispersão do combustível no ar, com o fim de obter uma mistura homogênea, é um problema de difícil solução. Em carburadores comuns, isto é feito com a ajuda de uma superfície quente ("Hot Spot"). A preparação da mistura ar-combustível é fundamental para o bom funcionamento do motor.

Uma preparação inadequada causa: rotação não-uniforme, consumo elevado, poluição por formação de CO e de HC, falha da ignição, partida difícil, etc. Entretanto, pouca atenção havia sido dada a esse tópico até o advento da poluição e do surgimento da crise energética.

2.2.4.2 - IGNIÇÃO

O sistema de ignição convencional com uma bobina, um condensador, um platinado, um distribuidor e velas de ignição comuns, é o mais utilizado. Com o aumento da poluição ambiente e da crise energética, novos sistemas de ignição começaram a ser pesquisados.

Entretanto, todos os sistemas pesquisados e em desenvolvimento buscam a criação de fontes múltiplas de ignição para garantir a inflamação de misturas ultrapobres.

Velas de ignição com centelhas maiores, devido às altas voltagens, criarão fontes múltiplas de ignição, garantindo assim a inflamação das misturas ultrapobres. Devido à maior energia entregue à carga por centelha e à criação das multifontes de ignição, garantir-se-á um melhor desempenho do motor, como: rotação uniforme, economia, menor poluição, partida mais fácil, ignição sem falhas, etc.

2.2.4.3 - VARIÁVEIS DO PROBLEMA

Uma boa ignição depende das seguintes variáveis:

- 1) Alta turbulência no curso de compressão, para que se possa ter um aumento na rapidez da combustão e para assegurar uma mistura mais homogênea, raspando-se as camadas de gás estagnado, colocadas nas paredes da câmara.
- 2) Dimensão da folga de vela (quanto maior a folga, maior será a voltagem de ruptura exigida).
- 3) Geometria da folga (pequenos eletrodos em ponta exigem menor voltagem de ruptura. Assim, a condição da superfície dos eletrodos é importante).
- 4) Temperatura dos eletrodos e mistura ar-combustível (temperaturas altas favorecem voltagens de ruptura baixas).
- 5) Densidade da mistura (altas densidades requerem voltagens de ruptura mais altas).
- 6) Resistência a perdas do isolador (carvão e óxidos formam revestimentos eletricamente condutores sobre o isolador, os quais curto-circuitam o enrolamento secundário e reduzem a voltagem máxima que ele pode imprimir através da folga da vela).

- 7) Taxa de aumento de voltagem na folga; se o sistema de ignição forma a voltagem em alta velocidade (alta frequência), o efeito da perda será mínimo e uma voltagem maior para a faísca será obtida.
- 8) Presença de gases ionizados na folga.
- 9) Razão ar-combustível, a qual fixa as propriedades elétricas da mistura (misturas pobres têm voltagem de ruptura mais altas que misturas ricas).
- 10) Material do eletrodo.
- 11) Uma mistura combustível deve estar presente entre os eletrodos. Por esta razão, uma localização da vela próxima à válvula de admissão é desejável.
- 12) Uma folga grande aumenta a possibilidade de chama regular, especialmente em cargas parciais.
- 13) Uma densidade de mistura alta permite a liberação de uma quantidade maior de energia, e a probabilidade de ignição é aumentada.
- 14) A ignição é melhor assegurada com misturas levemente ricas, pois obtém-se uma melhor liberação de energia.
- 15) A posição da vela e a posição dos eletrodos em relação às condições de fluxo da câmara.

A ignição de misturas pobres e diluídas pela descarga é facilitada por velas com folgas grandes.

A eficiência térmica e a pressão média de um ciclo generalizado, Figura 2.15, são:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\xi^{\gamma-1}} \cdot \frac{\rho' (\lambda \left(\frac{\rho}{\rho'}\right)^\gamma - 1) + (\rho' - 1)}{\lambda - 1 + \lambda\gamma (\rho - 1)}, \quad (2.1)$$

$$P_{cic} = \frac{P_a}{\gamma-1} \cdot \frac{\xi^\gamma}{\rho' \xi - 1} \cdot \eta_t (\lambda - 1 + \lambda\gamma (\rho - 1)). \quad (2.2)$$

2.2.4.4 - CASOS PARTICULARES

1) Ciclo com adição de calor a volume constante:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\xi^{\gamma-1}}, \quad (2.3)$$

$$P_{cic} = \frac{P_a}{\gamma-1} \cdot \frac{\xi^{\gamma-1}}{\xi-1} \cdot \eta_t (\lambda - 1). \quad (2.4)$$

2) Ciclo com adição de calor a pressão constante:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\xi^{\gamma-1}} \cdot \frac{r^{\gamma-1}}{\gamma (r-1)}, \quad (2.5)$$

$$P_{cic} = \frac{P_a}{\gamma-1} \cdot \frac{\xi^\gamma}{\xi-1} \cdot \eta_t \gamma (r-1). \quad (2.6)$$

3) Ciclo com adição de calor combinada:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\xi^{\gamma-1}} \cdot \frac{\lambda r^{\gamma-1}}{\gamma - 1 + \lambda\gamma (r-1)}, \quad (2.7)$$

$$P_{cic} = \frac{P_a}{\gamma-1} \cdot \frac{\xi^\gamma}{\xi-1} \cdot \eta_t (\lambda - 1 + \lambda\gamma (r-1)). \quad (2.8)$$

4) Ciclo de motores superalimentados:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\xi_{t.t}^{\gamma-1}} \cdot \frac{\gamma r^{\gamma-1}}{\lambda - 1 + \gamma \lambda (r-1)}, \quad (2.9)$$

$$(P_{cic})_p = \frac{P_a}{\gamma-1} \cdot \frac{\xi_{t.t}^{\gamma}}{\xi-1} \eta_t (\lambda - 1 + \gamma \lambda (r-1)). \quad (2.10)$$

A partir da análise das equações 2.3, 2.5, 2.7 e 2.9, vê-se que devido ao fato de $1/\xi^{\gamma-1}$, a maneira mais efetiva de aumentar a eficiência térmica é aumentar ξ e γ . Consegue-se o aumento de γ através do empobrecimento da mistura e do ξ pela alteração da taxa de compressão. Entretanto, não se pode aumentar ξ indefinidamente devido às propriedades de pré-ignição dos combustíveis.

Assim, pretendeu-se a construção de um sistema de ignição que assegure a inflamação de misturas pobres, possibilitando o aumento de expoente adiabático γ da mistura ar-combustível e o aumento da taxa de compressão do motor, tendo como consequência o aumento da eficiência térmica e a diminuição dos componentes tóxicos dos gases de exaustão, uma vez que a queima de misturas pobres diminuiu a níveis insignificantes a formação de CO. Por outro lado, a formação de HC aumenta com o aumento da temperatura média do ciclo. Entretanto, como a temperatura aumenta com o aumento da taxa de compressão e diminui com empobrecimento da mistura, visto que menor energia é liberada por ciclo, procurar-se-á um compromisso entre essas variáveis e a potência, comparando-se, no final, o desempenho do novo sistema com o convencional. Na Figura 2.16, vê-se uma fotografia do "bunkers" de teste do motor.

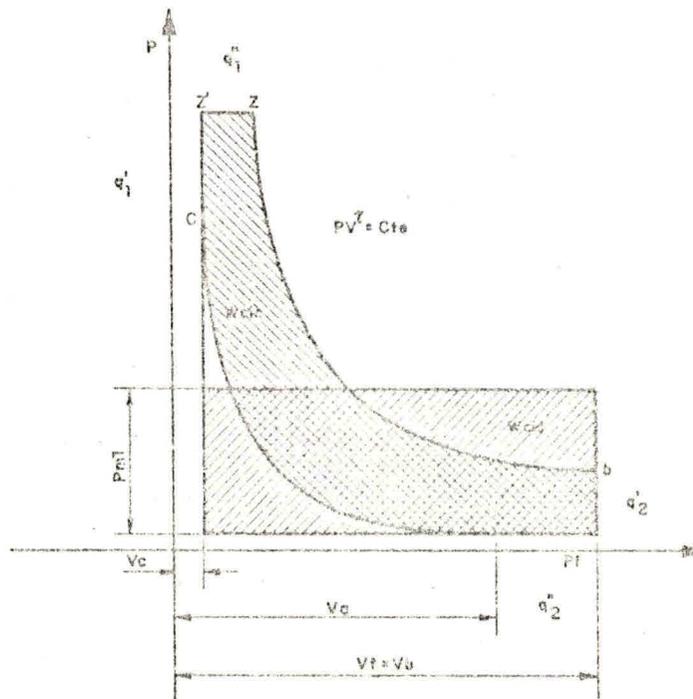


Fig. 2.15 - Ciclo generalizado de um motor alternativo em coordenadas P-V.



Fig. 2.16 - Motor de teste.

2.2.4.5 - MODIFICAÇÕES EFETUADAS

A taxa de compressão foi alterada de 6,81:1 para 9:1, em um motor de VW 1500.

A vela de ignição foi modificada passando a centelha a se dar entre o eletrodo central da referida vela e um motor pré-escoldido situado no cabeçote.

2.2.4.6 - DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS À PESQUISA

Desenvolveu-se um sistema de ignição eletrônica capaz de fornecer 0,5 J por centelha a rotações superiores a 200 Hz.

Construiu-se e testou-se um micromanômetro, com fins de medir a quantidade de ar consumida pelo motor.

Construiu-se ainda um sistema para medir a potência do motor, que consta basicamente de um gerador de 75 KW, acoplado ao motor, e de aparelhos de leitura.

Os testes estão sendo feitos, tendo-se até o momento obtido ótimos resultados.

2.3 - QUEIMA DE BIOMASSA E COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS (PROJETO BIOM)

O projeto BIOM consiste na construção, na operação e na otimização de combustores de bancada para estudos de combustão fluidizada à pressão atmosférica de carvões, de xistos e de biomassas, com vistas à geração de vapor.

A fase inicial do projeto envolve a construção de um equipamento de bancada para combustão fluidizada, similar a modelos existentes na literatura, como também a instalação de linhas de suprimento de ar, GLP e água de refrigeração.

Dentre os parâmetros envolvidos no processo, que necessitam ser estudados, determinados e controlados, destacam-se a velocidade de fluidização, a temperatura de trabalho, as perdas de pressão, a porosidade, os coeficientes de transferência de calor, a eficiência térmica, as características físico-químicas dos combustíveis utilizados, o balanço de materiais e energéticos.

O projeto incluiu especificação, aquisição e construção de instrumentação para medidas e para controle das variáveis de processo.

Nas etapas subsequentes prevêem-se modificações no protótipo inicial, dotando-o de recursos necessários a descargas de sólidos, separação da poeira, reciclagem de combustíveis não processados, trocadores tubulares de calor, pré-aquecedores de comburente, outros sistemas de alimentação, análise química de efluentes, etc., bem como de meios de avaliar estas operações e processos.

Ao final do projeto espera-se determinar a otimização dos parâmetros para combustão fluidizada de diversas dimensões de carvões e teores de cinza variados, como também proceder aos estudos similares, utilizando-se xistos e biomassas como combustíveis.

2.3.1 - COMBUSTOR DE LEITO FLUIDIZADO

Em um combustor de Leito Fluidizado, Figura 2.17, o combustível é disperso e queimado em um leito de partículas inertes.

Na maioria das aplicações, a temperatura do leito é mantida no intervalo entre 750°C e 1000°C; isto propicia a queima completa do combustível e, no caso de carvão, evita a agregação de partículas.

Os gases de combustão deixam o leito na sua temperatura de operação, removendo cerca de 50% do calor gerado na queima. Os outros 50% do calor estarão disponíveis para serem transmitidos às superfícies de trocadores de calor imersas no leito.

A energia transmitida para as superfícies de troca térmica dentro do leito é uniforme e elevada, quando comparada com a transferência de calor em uma câmara de combustão convencional. Consequentemente, a quantidade de calor gerada é mais bem aproveitada, reduzindo o consumo de combustível para uma dada produção de vapor, e a caldeira ocupa um espaço menor.

A baixa temperatura de trabalho reduz a corrosão, e o depósito de sujeira nas superfícies do trocador de calor, permite a baixa emissão de óxidos de nitrogênio e álcalis, e possibilita o controle da emissão de dióxido de enxofre pela adição de calcário ou dolomita no Leito Fluidizado.

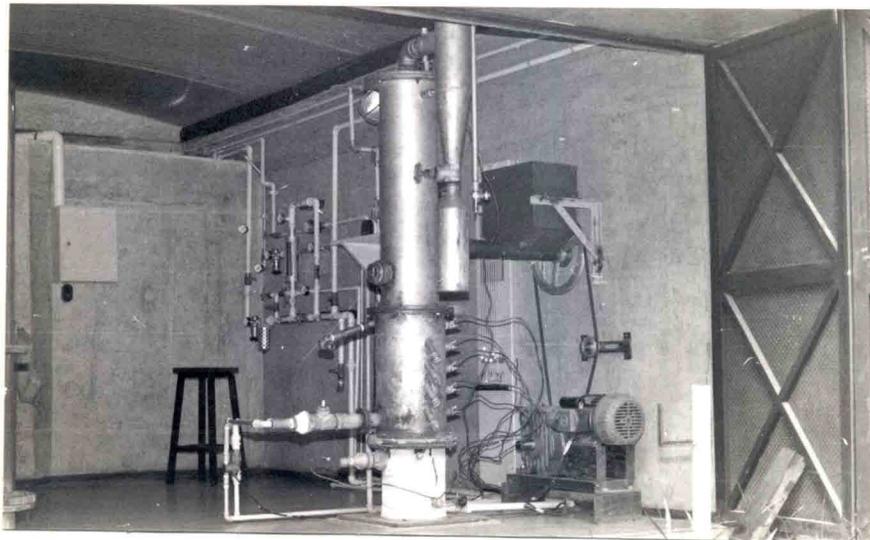


Fig. 2.17 - Combustor de leito fluidizado.

2.3.2 - ESTADO ATUAL

A região do leito do protótipo construído tem 25 cm de diâmetro e 50 cm de altura. O sistema de suprimento de ar fornece vazões até 90.000 Nl/h. O novo sistema de alimentação de combustível em construção consta de um transportador helicoidal com velocidade variável, cuja capacidade nominal é cerca de 31 g. de carvão por rotação, para carvão com dimensões até 6,5 mm.

O protótipo é também equipado com um ciclone para a separação dos finos e também com um trocador de calor do tipo camisa para controle de temperatura do leito.

Atualmente, encontra-se em estudo o projeto de um novo distribuidor, visto que o inicialmente utilizado não resistiu às condições de operação do combustor.

Desenvolveu-se um queimador AR x GLP com dispositivo de ignição eletrônica, para satisfazer às necessidades de préaquecimento do leito.

Foram adquiridos sensores e aparelhos para medição de temperatura, e construíram-se manômetros diferenciais para medida das quedas de pressão no equipamento.

Selecionaram-se e testaram-se métodos para análise imediata de carvão. Determinou-se a umidade, a matéria volátil, as cinzas, o carbono fixo, o enxofre total, a porosidade, a densidade do carvão e o material inerte.

Com base nos resultados da análise imediata, foi determinado o calor de combustão dos carvões adquiridos através de fórmulas empíricas. Verificou-se uma boa concordância com os valores determinados em ensaios calorimétricos.

Com respeito a análise de efluentes, optou-se, nesta fase inicial, por um aparelho analisador de gás do tipo ORSAT, e selecionaram-se métodos para determinação de CO, CO₂, O₂ e N₂.

Dispõe-se de um SIMULADOR contruído em vidro com a mesma seção do combustor, cuja finalidade é determinar experimental e visualmente os parâmetros ótimos de fluidização a frio.

Realizou-se um estudo teórico sobre fluidização. Considerou-se a velocidade de fluidização e os parâmetros necessários à sua determinação. Com base nesse estudo, concluiu-se que a correlação mais recomendada para a determinação da velocidade incipiente de fluidização deve-se a Mx Leva, representada pela equação:

$$G_{mf} = \frac{0,005 \cdot D_p^2 \cdot g \cdot \rho_f \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot \phi_s^2 \cdot \epsilon_{mf}^3}{\mu_f (1 - \epsilon_{mf})}$$

2.4 - OUTRAS ATIVIDADES

Aproveitando algumas facilidades desenvolvidas nesta Divisão para estudos de Fluxo Iônico em micropropulsão, tais como bobinas para alta tensão e frequência do tipo Tesla, desenvolveram-se métodos para fazer fotografias de corpos eletricamente energizados (Figuras 2.18, 2.19 e 2.20)

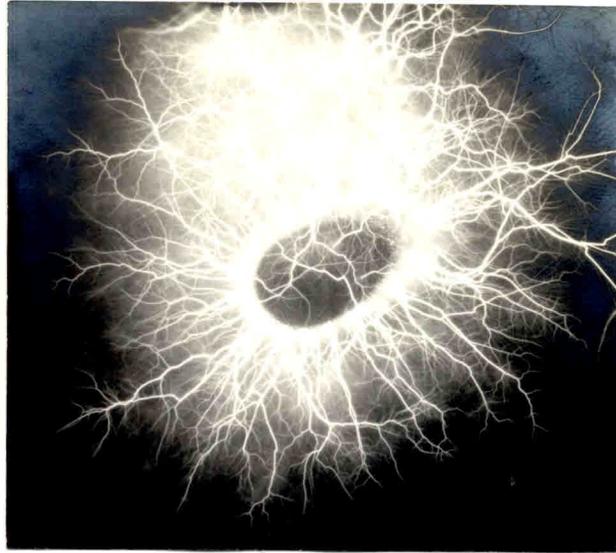


Fig. 2.18 - Fotografia do dedo polegar de um dos técnicos.

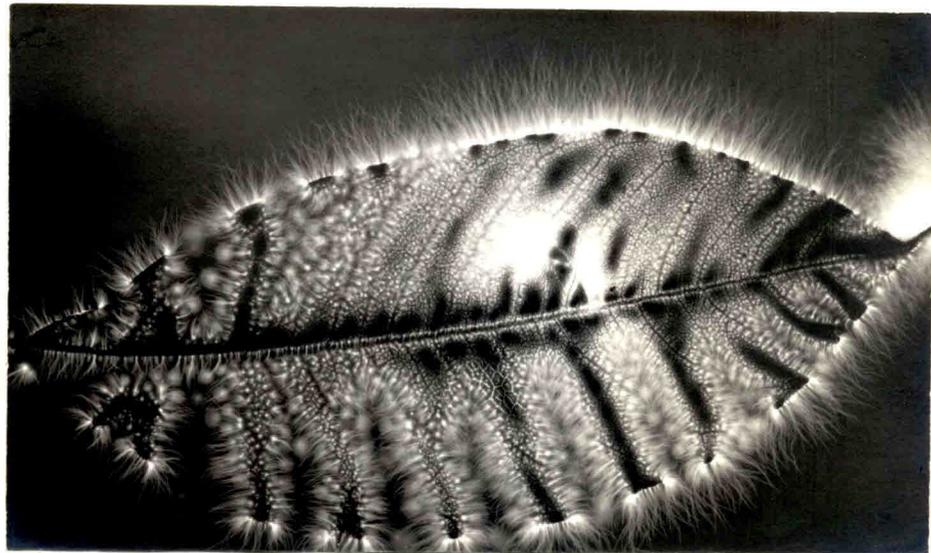


Fig. 2.19 - Fotografia de uma folha de lírio.

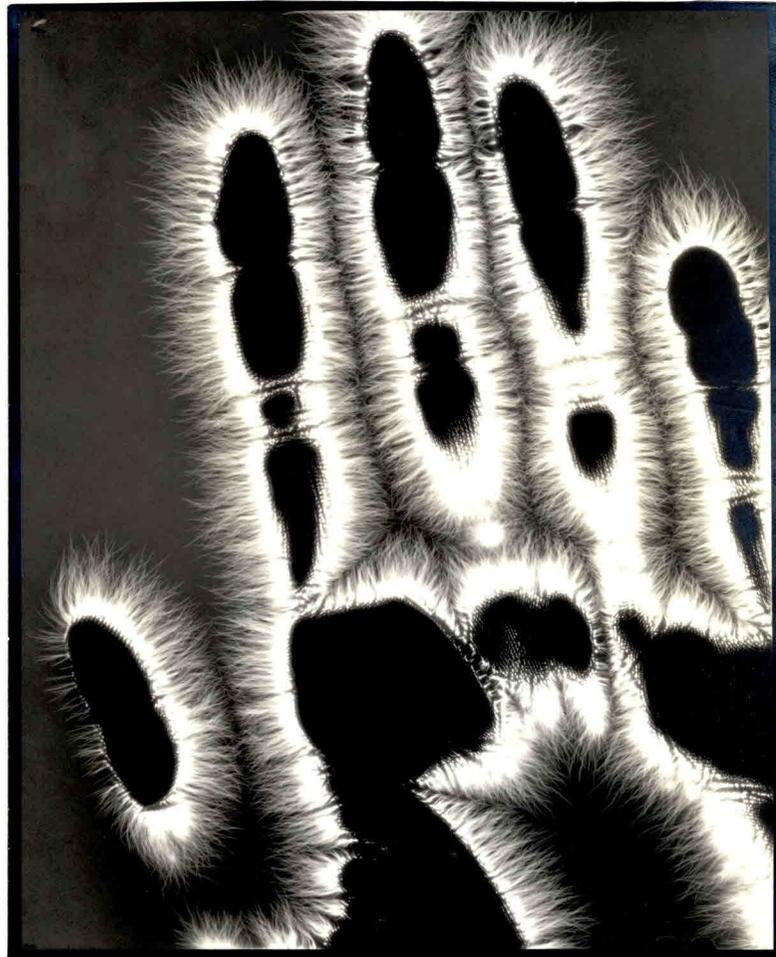


Fig. 2.20 - Fotografia da mão de um dos técnicos.

CAPÍTULO 3

INFRA-ESTRUTURA, EQUIPAMENTOS E PESSOAL

3.1 - INFRA-ESTRUTURA

O Programa de Combustão consta com as facilidades da Divisão de Processos de Combustão, a qual, como já foi dito, desenvolve no momento atividades operacionais e de implantação. Essa implantação implica no desenvolvimento de uma infra-estrutura básica para apoio ao Programa de Combustão do INPE, Entidades Científicas, Indústrias e Forças Armadas.

Atualmente a Divisão de Processos de Combustão conta com três prédios:

- Um de 630 m^2 destinado à administração, sala de aula e projeções, sala de pesquisadores e laboratórios, onde o risco de explosões é baixo, Figura 3.1.
- Um segundo em forma de cúpula usado para biblioteca, perfazendo 120 m^2 , Figura 3.2.
- Um terceiro com 380 m^2 para ensaios "bunkers" e oficina mecânica, Figura 3.3. No que se refere aos "bunkers", a estrutura é tal que, se houver uma explosão em um, os demais nada sofrem, além de proteger os pesquisadores e operadores.

A Divisão conta ainda com dois paióis, uma para iniciadores e outro para propelentes, Figura 3.4.



Fig.3.1 - Prédio para pesquisadores.

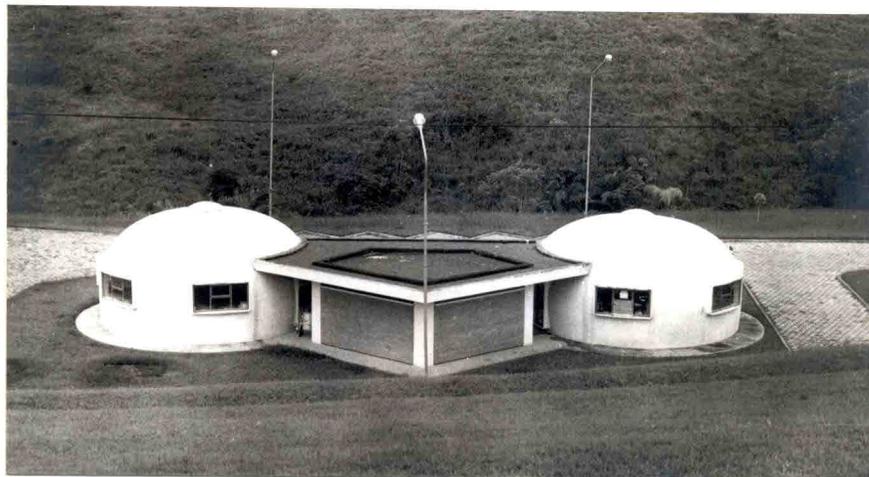


Fig. 3.2 - Cúpulas.



Fig. 3.3 - Prédio de ensaios.

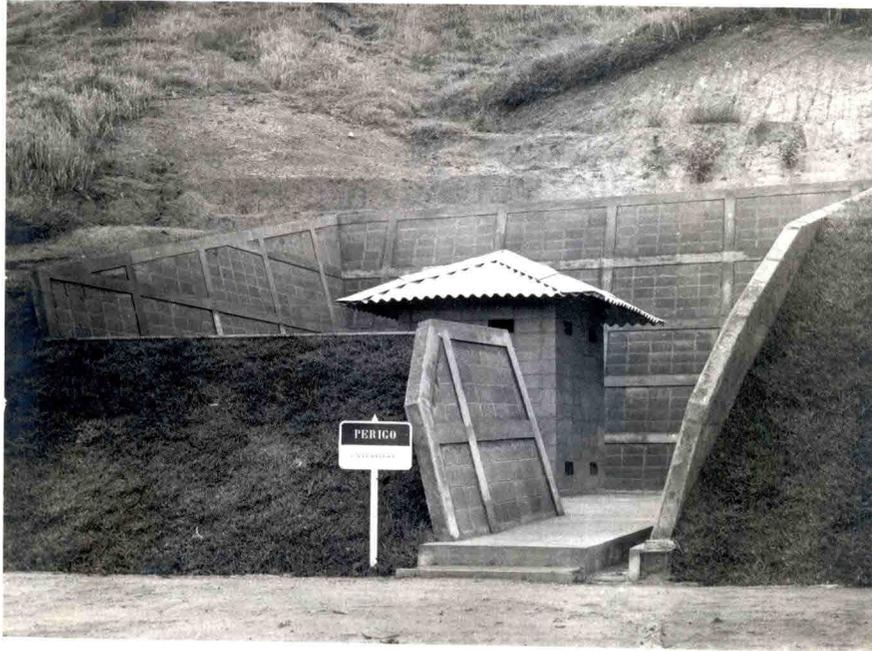


Fig. 3.4 - Paioi para propelentes.

3.2 - EQUIPAMENTOS

Em termos de facilidades técnicas, a Divisão de Processos de Combustão conta com os seguintes equipamentos:

<u>ITEM</u>	<u>NOME</u>	<u>DATA TOMB.</u>	<u>MARCA</u>	<u>MODELO</u>
01	Cromatôgrafo de gás	25.05.77	HP	5710 A
02	"Datagraph"	25.05.77	HP	5-154
03	Terminal de computador	25.05.77	Tektronix	4012
04	Sistemas de dados	25.05.77	HP	5934
05	Bomba de vácuo	25.05.77	Edwards	Esp.massa
06	"Hard copy unit."	24.01.79	Tektronix	4631
07	Unid. de fita magnética	16.07.80	HP	800 Bpi
08	Espectrômetro de massa	25.05.77	HP	5980 A
09	Cromatôgrafo	15.04.80	Varian	3.700
10	Registrador	15.04.80	Varian	261
11	"Digitec thermometer"	01.12.69	U.System	501
12	"Surface and needle pyrometer"	01.12.69	Smithe Kirk	250-A
13	"Surface and needle pyrometer"	01.12.69	Smithe Kirk	250-S
14	Torno	01.12.70	Myford	Super-7B
15	Aquecedor de água	01.12.70	Cúmulos	250 Lt
16	Câmaratérmica	01.12.71	Baynton	8312
17	Maq. de escr.elétrica	01.01.81	IBM	82-C
18	Compressor de ar	01.12.74	Douat	CD-70/20
19	Balança de precisão	05.01.77	Hidrostática	N.49
20	Balança de precisão	05.01.77	Hidrostática	N.51-33 sc
21	Refrigerador	13.01.77	Prosdócimo	330 Lt.
22	Máquina vibratória	17.01.77	Produtest	
23	Estufa com cir. de ar	18.02.77	Ética	50x40x50
24	Forno c/termômetro	11.03.77	Forlabo	Mulfa
25	Estufa p/ sec. e esteril	04.04.77	Ética	60x50x50
26	Calculadora	01.08.77	HP	25

<u>ITEM</u>	<u>NOME</u>	<u>DATA TOMB.</u>	<u>MARCA</u>	<u>MODELO</u>
27	Ph - metro	13.06.78	Micronal	Dig-B-222
28	Espectrofotômetro	13.06.78	Micronal	B-295
29	Frequencímetro	04.08.78	Analog	Dig - f 8100 A
30	Fonte de alimentação	18.09.78	Labo	FR-3015
31	Analizador de transistor	18.09.78	Labo	A-T-1
32	Temporizador digital	06.11.78	Engro	101-0A- 110-1
33	Viscosímetro	14.03.80	Ética	R-15
34	Furadeira elétrica	02.01.78	Bosch	manual 3/8"
35	Prensa hidráulica	06.01.78	Siwa	209365
36	Esmeril de coluna	02.01.78	Siwa	1 1/2 HP
37	Manta aquecedora	02.01.78	Fisatom	102
38	Torno mecânico motorizado	16.01.78	UMJ (Joinville)	Tm-150
39	Máquina de furar	15.02.78	Helmo	FB-16
40	Bomba de vácuo	01.04.78	Primor	cap.372Lt
41	Moinho de bola	01.04.78	Ética	N/T
42	Banho Maria	01.04.78	Fanem	mesa
43	Regulador de temp.(3)	01.04.78	Fisaton	ótico
44	Calculadora	27.04.78	HP	97-mesa
45	Forno mufla	09.06.78	Termolyne	1415-M
46	Carregador de baterias	29.09.78	Chubby	10
47	Serra mecânica	03.10.78	Chinelatto	SM-1
48	Multímetro digital	13.12.78	Simpson	461
49	Multiteste	12.12.78	Nioki	A-10
50	Platina limpadora	02.01.79	Zocca	PLZ-450
51	Fresadora	05.04.79	Sanches Blanes	fur-1
52	Motor elétrico	11.04.79	Búfalo	2 CV
53	Esmerilhadeira	22.05.79	Bosch	9"
54	Maçarico	30.05.79	Soldarc	SM 250
55	Centífuga excelsa	06.06.79	Fanem	204 NR

<u>ITEM</u>	<u>NOME</u>	<u>DATA TOMB.</u>	<u>MARCA</u>	<u>MODELO</u>
56	Serra de fitas p/ metais	30.05.79	Acerbi	SF ME
57	Medidor de eventos digital	19.06.79	Engro	TD 111
58	Compressor de ar	03.07.79	Schuls	MSV 90-400
59	Soldadeira	17.07.79	Ribso	220 V
60	Moinho micropulverizador	07.08.79	Treu	2 CV-NV 55 A 4
61	Moto esmeril	17.09.79	W.Martins	B 100
62	Transformador	12.11.79	Varivolt	VM-115
63	Balança analítica	20.02.80	Mettler	H54-AR
64	Balança analítica	20.02.80	Mettler	Pc-4.000
65	Termômetro	20.02.80	Mettler	FP 5 e FP 51
66	Unidade de bomba alto vácuo	22.11.79	Edwards	EDM 6
67	Agitador	22.11.79	Thermolyne	SP-18425
68	Agitador	22.11.79	Thermolyne	DP-18425
69	Misturador	04.01.79	Treu	a vácuo c/ caçamba
70	Rotavapor a vácuo	20.02.80	Buchi	N/T
71	Regulador de pressão	26.03.80	Tectrol	10 KVA
72	Capela	05.05.80	Engelab	CS-39
73	Furadeira elétrica	19.05.80	Bosch	3110
74	Osciloscópio	26.10.79	Tektronix	7633
75	Amplificador vertical	26.10.79	Tektronix	7 A 18
76	Gerador de varredura	26.10.79	Tektronix	7 B 53 A
77	Multímetro digital	26.10.79	Tektronix	7 D 13
78	Contador de temporizador	26.10.79	Tektronix	7 D 15
79	Gerador de caracteres	26.10.79	Tektronix	7 M 13
80	Câmara fotográfica	26.10.79	Tektronix	C 53 P
81	Reforçador de intensidade	26.10.79	Tektronix	016-0300- 00
82	Módulo de alimentação	26.10.79	Tektronix	TM 504
83	Gerador de funções	26.10.79	Tektronix	Fg 504
84	Amplificador diferencial	26.10.79	Tektronix	Am 502

<u>ITEM</u>	<u>NOME</u>	<u>DATA TOMB.</u>	<u>MARCA</u>	<u>MODELO</u>
85	Amplificador Operacional	26.10.79	Tektronix	AM 501
86	Multímetro digital	26.10.79	Tektronix	DM 502
87	Contador digital	26.10.79	Tektronix	DC 503
88	Moto esmeril	18.06.80	Rotan	1/6 HP
89	Viscosímetro Saybolt	12.08.88	Ética	701
90	Microscópio	13.06.80	Olympus	PME
91	Misturador	09.10.79	Treu	M-573-131
92	Congelador	12.11.78	Metal frio	CD 330 F
93	Calorímetro	13.06.78	Micronal	B-220
94	Agitador Magnético	13.03.78	Yamato	MH-61
95	Bomba de vácuo	01.04.78	Primar	37 Lt
96	Bomba de micro vácuo	25.01.79	Primar	104
97	Agitador Magnético	02.05.79	Thermolyne	18.400
98	Sistema de injeção cap.	18.07.80	Varian	N/T
99	Conj. p/op.inj.capilar	18.07.80	Varian	N/T
100	Relógio eletrônico	01.12.69	Tagus-Dimep 089	
101	Tripé p/máq. de filmar	01.12.70	Linhof	Profilstati
102	Filmadora automática	01.12.71	Cine Photo	R. 16
103	Válvula reguladora	01.12.71	Pako	58-195
104	Gravador de som portatil	01.12.81	Maguher	1.000
105	Microfone	01.12.71	Uher Werke	M-537
106	Microfone	01.12.71	Uher Werke	M-538
107	"Mixer" de som	01.12.71	Uher Werke	A-121
108	Tripé p/microfone (2)	01.12.71	Uher Werke	M-911
109	Carregador de bateria	01.12.71	Uher Werke	M-911
110	Fone de ouvido	01.12.71	Uher Werke	W-671
111	Refletor	01.12.71	Color Tran	116-001
112	Cronômetro de marcação	01.12.71	Nero-Lemani	N/T
113	Projektor editor p/ filmes	01.12.71	Kalent	Visctor
114	Enroladeira p/ filmes	01.12.71	A e Richter	6410
115	Coladeira para filmes	01.12.71	A e Richter	6602
116	Raspadeira p/ filmes	01.12.71	A e Richter	

<u>ITEM</u>	<u>NOME</u>	<u>DATA TOMB.</u>	<u>MARCA</u>	<u>MODELO</u>
117	Mãq. copiadora	01.12.71	Metro/Calva	616
118	Fotômetro	01.12.71	Sekonic	
119	Pantôgrafo p/ refletor	01.12.69	Maxwell	
120	Câmara Cinematográfica	01.12.72	Bolex	RX 5
121	Objetiva	01.12.72	Switar	26 mm
122	Objetiva	01.12.72	Switar	75 mm
123	Punho	01.12.72	Bolex	N/T
124	Objetiva	01.12.72	Switar	10 mm
125	Coladeira p/filmes c/ gerador 161	01.12.72	Matro/ Kalvar	Ultrassônica
126	Projektor editor 16 mm (2)	01.12.72	Craig	Victor
127	Coladeira p/filmes de duplex (2)	01.12.72	Incolatrice	M2.6mm 2 T
128	Transformador elétrico	01.12.72	Willkasin	3 K VA
129	Projektor de filmes	01.12.74	Bell Howell	3.802
130	Tripê "HI Riser Stand" (5)	01.12.70	Colortran	SSGH
131	Refletor "varibeam" (8)	01.12.70	Colortran	LQV-10-1
132	Bandeira de 4 abas (8)	01.12.70	Colortran	B4V-10
133	Filmadora automática	01.12.75	Arriflex	16 BL
134	Magazine (3)	01.12.75	Arriflex	400 pês
135	Bateria (2)	01.12.75	Arriflex	Níquel cadm.
136	Carregador de bateria	01.12.75	Arriflex	NCL-06
137	Motor	01.12.75	Arriflex	Síncrono
138	Visor periscópio	01.12.75	Arriflex	Formato B
139	Conjunto arri p/ grav.dir.	01.12.75	Arriflex	1623
140	Amplificador arri p/ grav.dir.	01.12.75	Arriflex	1624
141	Audiofone studio	01.12.75	Arriflex	DT 485
142	Suporte de ombro p/film.	01.12.75	Arriflex	1159
143	Cabeça giratória para tripê	01.12.75	Arriflex	N/T
144	Tripê 1405 curto	01.12.75	Arriflex	N/T
145	Tripê 1467 normal	01.12.75	Arriflex	N/T

<u>ITEM</u>	<u>NOME</u>	<u>DATA TOMB.</u>	<u>MARCA</u>	<u>MODELO</u>
146	Carrinho p/ tripé	01.12.75	Arriflex	2319
147	Mesa de animação p/filme 16 mm	01.12.74	Oxberry	5332
148	"Dimmer" 7110 - 093	01.12.74	Colortran	166.270
149	Tripé (2)	01.12.74	Colortran	N/T
150	Refletor minilite (2)	01.12.74	Colortran	10.104-011
151	Plano p/filmes trip.	01.12.74	Oxberry	5330-61
152	Chassis p/filme (2)	01.12.74	Oxberry	5326-31
153	Disco p/des.5400-92. 01 (6) e guia duplo	01.12.74	Oxberry	N/T
154	Sist. de avanço progressi vo	01.12.74	Oxberry	5400-95-03
155	Congelador	03.10.78	Metal frio	CD-330-F
156	Variador de voltagem	15.04.80	Varivolt	V.M-260
157	Minitorno	22.04.80	Metalurgia	RBS TMB
158	Pirômetro digital 12 pon tos	30.04.80	Resilux	362/b/1
159	Transformador trifásico	02.06.80	Siemens	30 KVA
160	Congelador	08.10.80	Metal frio	CD-480-F/M
161	Polímetro	08.10.80	Asca	m-110
162	Barômetro anaerôbio de al ta pressão	08.10.80	Polymiter	M-260
163	Amplificador vertical	02.04.81	Tektronix	cc 76 MH2
164	Retificação industrial	28.04.81	Bosch	1205
165	Balança	28.04.81	Cozzolina	5 Kg
166	Calorímetro adiabático	08.08.81	Labimax	K1 5
167	Estufa a vácuo	05.11.81	Tecterno	09900290E
168	Aspirador de pó	10.11.81	GE	850 super
169	Amassadeira de 2 braços	15.11.81	Pilot	2 Lt.
170	Estufa	10.04.82	Fanem	320 SE

3.3 - PESSOAL QUALIFICADO

O Programa de Combustão, no que se refere a recursos humanos, conta com o seguinte quadro científico e técnico:

- Antonio Gonçalves de Freitas, engenheiro químico.
- Antonio Gomes Comonian, desenhista.
- Carlos Eduardo Rolfsen Salles, físico, em fase final de tese de mestrado.
- Célio Marques Carneiro, torneiro mecânico.
- Cláudio Bressan, engenheiro mecânico, cursando mestrado.
- Cristian Ricardo Eduardo Reyes Dueñas, engenheiro eletrônico.
- Darcy das Neves Nobre, engenheiro mecânico, MS, responsável pelo Programa.
- Edbert Moreira, técnico em cinematografia de alta velocidade.
- Eduardo Augusto Gomes Pereira, engenheiro mecânico, MS.
- Heraldo da Silva Couto, físico, em fase final de tese de mestrado.
- Isabel Cristina Coelho Calegão, química, Dra.
- Ivan Gasparetto, assistente técnico.
- Jerônimo dos Santos Travelho, físico, MS, cursando o doutoramento no exterior.
- João Andrade de Carvalho Júnior, engenheiro aeronáutico, MS, em fase final de doutoramento no exterior.
- João Geraldo da Silva, engenheiro eletrônico.
- Jorge Luiz Gomes Ferreira, engenheiro químico.
- José Augusto Jorge Rodrigues, engenheiro químico.
- Katsumi Hiramatsu, físico, MS.
- Luiz Antonio Basso, técnico em química.
- Marco Aurélio Ferreira, engenheiro químico.
- Odilon Newton Vieira, torneiro mecânico.
- Paulo Celso Palmeira, auxiliar de serviços gerais.
- Ralf Rother, técnico eletrônico.
- Roberto Fernandes Bastos, técnico eletrônico.
- Tertulino Fernandes de Lacerda, auxiliar de serviços gerais.
- Vânia Maria Azevedo, auxiliar de administração.

3.3.1 - COOPERAÇÃO EXTERNA

O Programa de Combustão mantém, a longo tempo, uma es
treita cooperação com os doutores:

- Demétrio Bastos Netto, Ph.D. Vice-Diretor do Instituto de Pes
quisas da Marinha, Rio de Janeiro.
- Ben T. Zinn, Ph.D. Georgia Institute of Technology School of
Aerospace Engineering, Atlanta, Georgia, USA.