

Um Modelo de Instalação para Testes de Motores a Propulsão Química

José Gobbo-Ferreira¹, Carlos Dolberth Jaeger²

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Escola Superior de Guerra - 2009)¹, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais²

Resumo — Este trabalho se destina a apresentar as instalações físicas do Banco de Provas em Condições Atmosféricas - BTCA, do Laboratório de Combustão e Propulsão – LCP, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, situado em Cachoeira Paulista – SP.

Sua finalidade é mostrá-lo como um modelo de instalação para essa atividade, uma vez que, depois de ajustes e aperfeiçoamentos a partir de sua configuração inicial, vem sendo utilizado em testes de vários tipos de propulsão química, apresentando um desempenho repetitivo, seguro e confiável. Espera-se que este artigo possa encorajar outras instituições de ensino ou pesquisas no país, nesse campo, a utilizar as instalações aqui descritas.

Palavras-chaves — Sistemas espaciais, Propulsão, Testes de motores foguetes.

I. INTRODUÇÃO

O estudo da propulsão é fundamental para o desenvolvimento de satélites e de seus veículos lançadores. Este trabalho se propõe a apresentar as instalações que foram construídas no LCP do INPE para desenvolver, testar e aperfeiçoar propulsores, particularmente aqueles compatíveis com a utilização em satélites. O banco, mostrado na Fig.1., tem condições de trabalhar, em condições atmosféricas, com engenhos dos mais diversos tipos de propulsão, (líquido monopropelente, líquido bipropelente, sólido, híbrido líquido-sólido, estado reator etc) com empuxo até 5000 N.

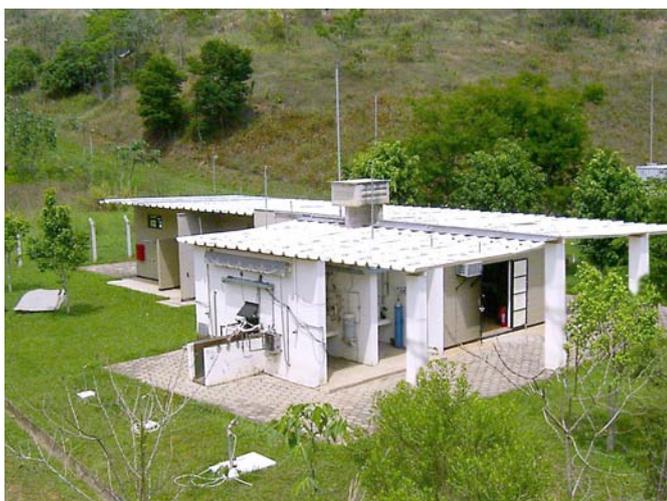


Fig. 1. Vista do Banco de Testes em Condições Atmosféricas.

A concepção, o projeto, a execução e o aperfeiçoamento do sistema até que uma instalação dessa natureza se torne confiável, segura e repetitiva são atividades críticas, de longa duração.

José Gobbo Ferreira, jgobboferreira@gmail.com;
Carlos Dolberth Jaeger, carlos.jaeger@gmail.com, Tel. +55-12-3186-9384,
Fax +55-12-3101-1992

O resultado final embute a experiência e o trabalho árduo de toda uma equipe, cujas competências não são facilmente encontráveis em nosso país.

Essas instalações, situadas em Cachoeira Paulista – SP podem ser utilizadas por qualquer instituição de pesquisa ou ensino para teste de seus produtos.

II. DESCRIÇÃO DO BANCO

O banco é composto por três linhas de propelentes, uma para o combustível, outra para o oxidante e uma terceira para operação com monopropelentes, e um ponto fixo onde são montados os motores para os ensaios. As linhas de combustível e oxidante são iguais.

Por razões de segurança, as linhas de propelentes são divididas em duas baias, uma para a parte gasosa e outra para o propelente pressurizado. As baias da linha de combustível são mostradas nas Figs. 2. e 3. A linha correspondente ao oxidante é exatamente igual. O ponto fixo fica localizado após a baia de líquido. Todas essas três seções são separadas entre si por paredes de concreto de resistência adequada.



Fig. 2. Baia de gás da linha de combustível

As linhas são alimentadas por um conjunto de dois cilindros de nitrogênio categoria aeroespacial, (N50), cuja pressão de saída é controlada uma válvula reguladora que funciona na faixa de 0 a 4000 psi, instalada em um manifold.

Após a válvula reguladora existe um conjunto de filtro/válvula de retenção, em peça única. Em seguida, vem o transmissor com indicação local que monitora a pressão na entrada do tanque de propelente.



Fig. 3. Baía de propelentes da linha de combustível

A Fig.4. mostra o arranjo esquemático da linha de combustível.

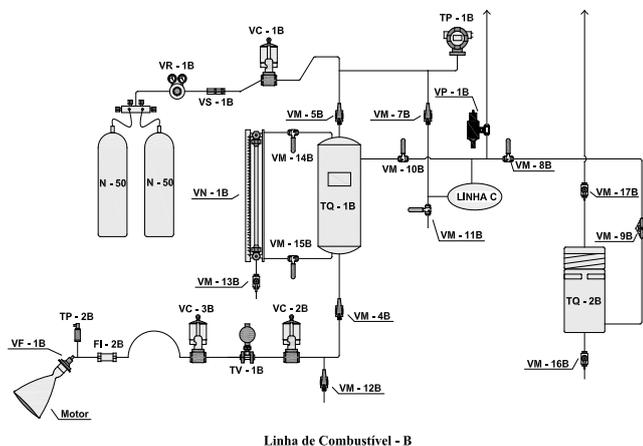


Fig. 4. Esquema das linhas de combustível

O tanque dispõe de um visor de nível, com válvulas de entrada, saída e esgotamento. Em sua parte superior existe uma saída para os circuitos de depressurização, um de emergência e outro neutralizado. O primeiro libera os vapores diretamente para a atmosfera por meio de uma válvula acionada pneumáticamente da sala de controle. O segundo dispõe de válvulas manuais e envia os vapores para um tanque com uma solução adequada (atualmente, ácido fórmico para o combustível e uréia para o oxidante) onde são borbulhados, para permitir a neutralização dos componentes nocivos, antes de lança-los na atmosfera. Na saída do tanque temos uma válvula manual, e na tubulação que se segue uma válvula controladora de vazão e um medidor de vazão de alta precisão, do tipo Coriolis, seguido por uma válvula, normalmente fechada, que é a segurança final do processo. Ela se abre durante os processos do ensaio mas, sempre que qualquer alarme seja acionado, ela não se abrirá ou, se o processo estiver em curso, se fechará imediatamente.

As linhas de propelentes terminam no ponto fixo. Além dos bipropelentes, ele é utilizado para os demais ensaios com diferentes tipos de propulsão.

Para os testes com monopropelentes, uma derivação na tubulação que conduz o gás na linha bipropelente, é usada para pressurizar o tanque de monopropelente. Este possui um visor

de nível também equipado com válvulas de entrada, saída e escoamento. Ele se comunica com o sistema de depressurização e evacuação de vapores do combustível da linha de bipropelentes. Após sair de seu tanque, o monopropelente passa por filtros de 15 e 8 μ e por um medidor de vazão do tipo Coriolis.

No caso especial dos monopropelentes, os propulsores são instalados em uma câmara fechada, na qual é aplicado um vácuo de cerca de 0,85 bar, por meio de uma bomba de anel líquido. Isso permite evacuar os gases oriundos da decomposição do produto e dissolve-los no líquido do tanque acoplado à bomba. O vácuo na câmara é monitorado por um sensor com leitura local e um transmissor para sua aquisição. No interior da câmara o propelente passa por uma válvula e chega ao sensor de pressão de entrada e às solenóides de segurança e fluxo. No fundo da câmara uma válvula permite aliviar o vácuo e escoar eventuais líquidos existentes.

Em todas as partes molhadas somente o aço inoxidável SAE 304 ou 316 ou o teflon PTFE (puro, sem qualquer tipo de carga) podem entrar em contato com os propelentes.

O banco dispõe ainda de uma bancada de aferição e calibração de sensores e transmissores, mostrada na Fig. 5., recentemente certificada em procedimento rastreado pelo INMETRO, com capacidade para aferir e calibrar transmissores de tensão, corrente e frequência, bem como sensores de temperatura, pressão e força nas mais variadas escalas.

Conta ainda com os serviços de uma oficina mecânica com capacidade para usinagem de precisão e de um Laboratório Químico para as análises de propelentes e efluentes.



Fig. 5. Bancada de aferição e calibração

III. COMANDO DO TESTE E AQUISIÇÃO DE DADOS

Propulsores químicos para satélites e foguetes são componentes de alta tecnologia que, portanto, necessitam de condições especiais para o seu desenvolvimento e teste. Abaixo listamos as principais necessidades a serem atendidas pelo sistema de comando do teste e aquisição de dados:

- o comando do motor deve ser totalmente automatizado
- deve ser possível comandar manualmente caso necessário
- deve ser possível a armazenagem de seqüências de testes individuais para cada tipo particular de propulsor
- os tempos de comando devem ser extremamente precisos
- os dados adquiridos em cada teste devem ser armazenados individualmente

- alguns dados necessitam alta taxa de aquisição e para outros é mais importante uma alta resolução
- deve ser possível a programação de limites de segurança (alarmes) para cada grandeza
- esses limites devem ser monitorados em tempo real
- devem ser programadas ações de emergência, que sejam executadas automaticamente caso algum limite seja excedido
- o tempo entre a detecção do alarme e a execução da ação de emergência deve ser mínimo
- além dos dados numéricos, é importante o registro visual com redundância dos testes (vídeos)

A aquisição de dados ainda precisa levar em conta os seguintes fatores:

- o local de teste, ponto fixo, é separado das linhas de propelente e da sala de comando
- em geral, os ambientes possuem grande quantidade de ruídos eletromagnéticos
- os próprios comandos, das linhas e do motor, geram ruídos eletromagnéticos

O sistema implementado no BTCA atende a todos esses requisitos. A Fig. 6. mostra uma parte da sala de comando dos testes.



Fig. 6. Vista da sala de comando

Concebido para maximizar a utilização das linhas de propelente existentes, é um sistema modular que permite a programação de testes individuais para todos os tipos de propulsores. Para cada tipo de motor, os comandos podem ser totalmente automatizados e os dados de temperaturas, pressões, empuxo, consumo de propelentes, etc, são armazenados em arquivo durante a execução dos testes. Da mesma maneira, os alarmes e suas ações são programados conforme o tipo particular de propulsor em teste. Todos os comandos automáticos podem ser desabilitados manualmente, protegendo os operadores, as instalações e o propulsor em teste.

Os comandos das válvulas de fluxo (solenóides ou atuadores elétricos ou pneumáticos) e eventuais válvulas de segurança são enviados ao motor através de circuitos CC ou CA, em uma ampla faixa de tensões.

Os dados, tais como pressões nas entradas de propelente, na câmara de combustão, vácuo na câmara de teste, empuxo, temperaturas e vibração são medidos por diversos sensores.

O diagrama da Fig.7. ilustra o sistema:

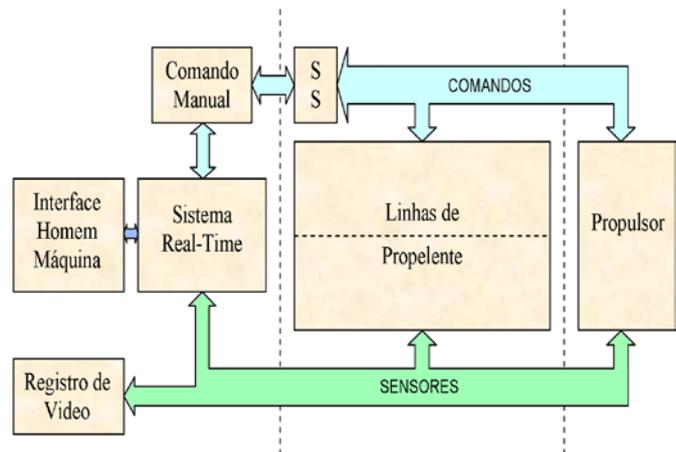


Fig. 7. Esquema do sistema de comando de testes e aquisição de dados

Dois câmeras de vídeo monitoram o ensaio em vários ângulos e o áudio oriundo do ensaio é registrado, e analisado se for o caso. Uma câmera de vídeo infravermelho também pode ser usada para visualização da distribuição de temperaturas.

Da mesma forma, as válvulas das linhas de propelente recebem comandos e os sensores medem as pressões dos tanques e a vazão dos propelentes.

O Sistema de Segurança (SS) desabilita qualquer eventual comando manual ou automático vindo da Sala de Comando.

O Comando manual permite pilotar as válvulas, bem como desabilitar todo o sistema. Além disso fornece um retorno visual do estado dos comandos, independente do sistema automático.

O Sistema Real-Time contém placas de aquisição e controle de alta velocidade e resolução, condicionamento de sinais, fontes de energia e drivers de saída. Utiliza um sistema operacional específico - Labview Realtime - e se comunica com a Interface Homem-Máquina (IH-M) através de uma rede de alta velocidade. Como exemplo, com o sistema atual, é possível adquirir dados com 18 bits de resolução e 1.25 MS/s e gerar comandos com contadores de 32 bits e 2.82 MS/s.

A IH-M, também em Labview, permite a criação de programas supervisórios específicos para cada tipo de teste e de motor, desenvolvidos em ambiente PGS (Projeto Gráfico de Sistemas). Como exemplo, um programa para teste de motor bipropelente permite geração de n pulsos para o comando das válvulas de fluxo do oxidante e combustível com resolução de 1 ms e ainda permite estabelecer atrasos individuais para cada válvula, se for o caso. São definidos alarmes de sobrepressão, sobretemperatura, situação de abertura de válvulas e discrepâncias na vazão dos propelentes. Níveis de alarme permitem o aviso de atenção e o abortamento automático do teste com o fechamento das válvulas do motor e das linhas.

O Sistema de Monitoração e Registro de Áudio e Vídeo realiza a gravação em tempo real em HD e os testes são posteriormente gravados em DVD.

Para minimizar problemas de interferência eletro-magnética, o cabeamento de controle é separado do cabeamento dos sensores. Atenção especial é dada ao aterramento e à blindagem. Dados mais sensíveis utilizam entradas balanceadas.

Além dos programas supervisórios e de controle dos testes, são desenvolvidos programas específicos para a análise dos dados, permitindo a visualização imediata, após cada teste, das curvas de todos os parâmetros, com análise matemática dos dados e valores estatísticos.

IV. EMPREGO DO BANCO

Os testes bipropelentes atualmente executados no BTCA utilizam o par hipergólico dimetilhidrazina assimétrica (UDMH) e tetróxido de nitrogênio (NTO). A Fig. 8. mostra o teste do motor nacional em desenvolvimento para controle de rolamento do VLS, também adequado para motor de apogeu de satélites.

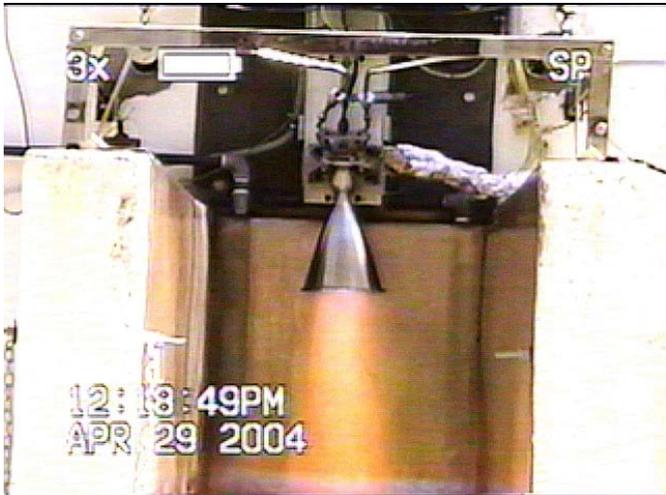


Fig. 8. Ensaio do motor nacional bipropelente

A Fig. 9. mostra um resultado típico de testes com motores bipropelentes.

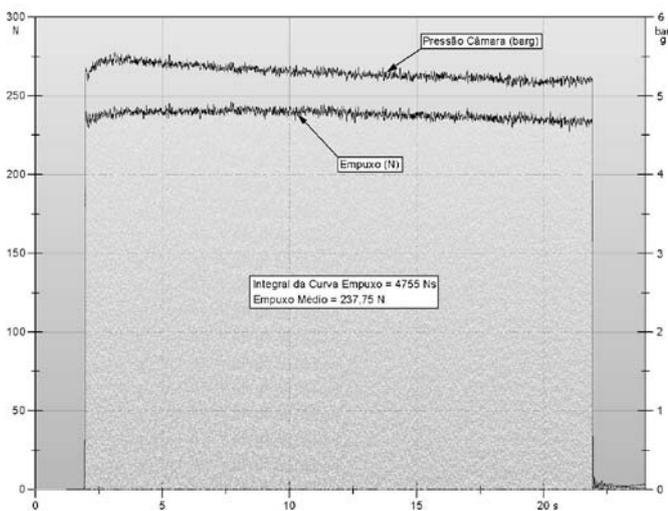


Fig. 9. Exemplo de curvas de pressão de câmara e empuxo

O motor monopropelente nacional testado no banco funciona pela decomposição catalítica da hidrazina e é adequado para emprego no controle de órbita e atitude de satélites. Seu empuxo médio é de 2 N. Essa categoria de testes serve não só para avaliar o desempenho dos motores, mas também para apoiar os projetos de desenvolvimento e aperfeiçoamento de catalisadores.

A Fig.10. mostra o motor monopropelente em condições de ser testado na câmara de vácuo.

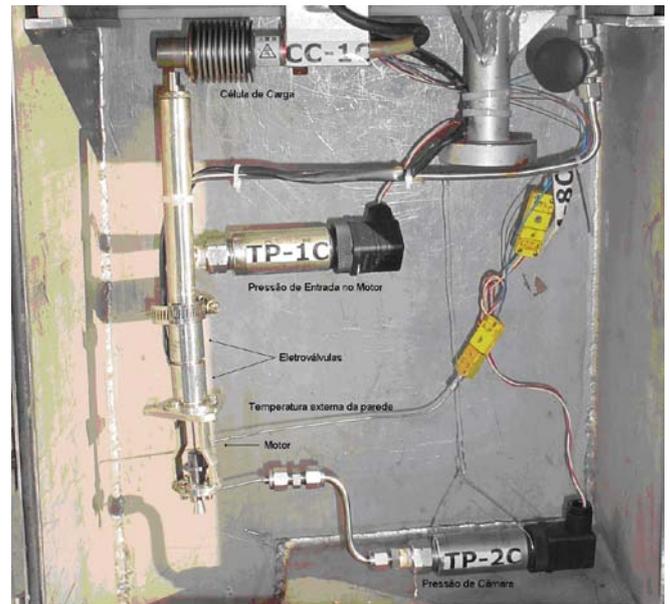


Fig. 10. O motor monopropelente na câmara de vácuo

No campo da propulsão sólida, foi desenvolvido no BTCA um motor a propelente composite para emprego em um foguete para captura de descargas atmosféricas.

A esse engenho foi dado o nome de 'Motor Argus', e ele foi utilizado com elevado rendimento de capturas em um projeto conjunto de diversas instituições nacionais e estrangeiras.

A Fig. 11. mostra um dos últimos testes desse motor em banco de provas, antes de sua qualificação em voo.



Fig. 11. Teste do motor Argus para foguete de captura de raio

Foram desenvolvidos no BTCA modelos de estado-reatores acoplados a geradores de ar viciado, que funcionaram com diversos polímeros de uso corrente.

A Fig. 12. mostra um estado-reator sendo testado no BTCA.



Fig. 12. Teste de estado-reator utilizando polietileno como combustível

Também foi desenvolvido um motor híbrido, mostrado na Fig. 13., utilizando NTO como oxidante e parafina como combustível.



Fig. 13. Teste do motor híbrido N_2O_3 - Parafina

V. CONCLUSÕES

O LCP do INPE instalou um banco de provas em Cachoeira Paulista que tem se demonstrado bastante adequado para pesquisa e desenvolvimento de motores-foguete dos mais variados tipos e de empuxos entre 2N e 5000N. Este trabalho mostrou alguns dos empregos possíveis do banco.

É de fundamental importância que a comunidade interessada tome conhecimento de sua existência e se utilize dele em seus trabalhos na área de propulsão. Essa é a melhor maneira de justificar os recursos aplicados em sua instalação e aperfeiçoamento.