



Journal of Aerospace Technology and
Management

ISSN: 1948-9648

secretary@jatm.com.br

Instituto de Aeronáutica e Espaço
Brasil

Carvalho Torres, Marco F.; Soares de Almeida, Daniel; Rama Krishna, Yelisetty S.; Silva, Luiz
Antônio; Kiyoshi Shimote, Wilson
Propulsão líquida no IAE: Visão das atividades e perspectivas futuras
Journal of Aerospace Technology and Management, vol. 1, núm. 1, enero-junio, 2009, pp. 99-106
Instituto de Aeronáutica e Espaço
São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309428885013>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Marco F. Carvalho Torres*

Instituto de Aeronáutica e Espaço
São José dos Campos - Brasil
mfcarvalho@iae.cta.br

Daniel Soares de Almeida

Instituto de Aeronáutica e Espaço
São José dos Campos - Brasil
dsalmeida@iae.cta.br

Yelisetty S. Rama Krishna

Instituto de Aeronáutica e Espaço
São José dos Campos - Brasil
krishna@iae.cta.br

Luiz Antônio Silva

Instituto de Aeronáutica e Espaço
São José dos Campos - Brasil
silva@iae.cta.br

Wilson Kiyoshi Shimote

Instituto de Aeronáutica e Espaço
São José dos Campos - Brasil
wilson@iae.cta.br

* autor para correspondência

Propulsão líquida no IAE: Visão das atividades e perspectivas futuras

Resumo: Este trabalho apresenta as atividades na área de propulsão líquida no IAE, que teve um impulso efetivo no final da década de 90. É consenso entre os especialistas da área espacial a utilização da tecnologia de propulsão líquida nas futuras gerações de veículos lançadores de satélites, com o objetivo de elevar significativamente o desempenho do foguete e a precisão de inserção de satélites. Diversas atividades nesta área encontram-se em desenvolvimento, entre as quais podem ser citadas: os motores L5, L15 e L75, as especificações das instalações de testes de motores, componentes e estágios de foguetes, além de um programa de capacitação de recursos humanos nas áreas de projeto, fabricação e testes de motores foguetes desta natureza.

Palavras-chave: Propulsão líquida, MFP, Perspectivas Futuras.

Liquid Propulsion at IAE: Vision of the activities and future perspectives

Abstract: This paper presents the activities in the area of liquid propulsion, which received an effective boost at the end of the 90s. There is a consensus among specialists on the use of liquid propulsion in the next generation of satellite launcher vehicles in order to increase significantly both the performance and the satellites insertion accuracy. Several activities in this area are in development, among which should mention, the L5, the L15 and the L75 LPRE, the specifications for engine testing facilities for components and rocket stages, and a human resources program for training in the areas of liquid rocket engine design, manufacture and testing.

Key words: Liquid propulsion, LPRE, Future perspectives.

LISTA DE SÍMBOLOS

AEB	Agência Espacial Brasileira
APE	Divisão de Propulsão Espacial
FCMF	Fundação Casimiro Montenegro Filho
GOX	Oxigênio gasoso
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
L5	Motor-foguete a propelente líquida de 5 kN
L15	Motor-foguete a propelente líquida de 15 kN
L75	Motor-foguete a propelente líquida de 75 kN
LOX	Oxigênio líquido
MAI	Moscow State Aviation Institute
MFPL	Motor-Foguete a Propelente Líquido
MFPS	Motor-Foguete a Propelente Sólido
MPEA	Mestrado Profissionalizante em Engenharia Aeroespacial
MTCR	Missile Technology Control Regime
PNAE	Programa Nacional de Atividades Espaciais

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da corrida espacial, a capacidade para projetar, construir e testar motores-foguetes é considerada uma questão estratégica pelos países que desenvolvem atividades espaciais, garantindo a eles a possibilidade de equipar seus foguetes, independentemente de influências políticas externas.

A experiência do IAE ao longo dos anos tem mostrado que adquirir motores-foguetes e seus componentes no exterior é uma tarefa extremamente delicada, pois a tecnologia de foguetes está sujeita às restrições dos países signatários do MTCR (Missile Technology Control Regime), além de sofrer embargos de natureza política, comercial e estratégica.

Para superar estes obstáculos, o IAE sempre procurou atuar de forma a desenvolver seus próprios motores e tornar-se independente de influências externas. Não fosse pela visão de alguns pioneiros, que desde muito cedo, perceberam que os sistemas propulsivos deveriam receber atenção especial no desenvolvimento de nossos foguetes, talvez o Brasil estivesse atuando, hoje, apenas no desenvolvimento de

Recebido: 06/05/09

Aceito: 22/05/09

satélites, como se verifica em alguns países da América Latina. Tal como nossos predecessores perceberam há cerca de 40 anos, não há como duvidar que a tecnologia de propulsão espacial foi e sempre será um dos pilares para o domínio da tecnologia de foguetes.

Garantir a manutenção do que foi aprendido e ampliar a capacidade para desenvolver novos sistemas propulsivos são metas permanentes do programa espacial brasileiro, a fim de garantir nossa soberania para a utilização do espaço com fins científicos, estratégicos, comerciais ou de defesa. Contudo, para que possamos atuar efetivamente nestas áreas, será necessário um amplo desenvolvimento de novas tecnologias para atender missões espaciais com requisitos de desempenho e precisão cada vez mais rígidos.

Da mesma forma que a tecnologia de sistemas propulsivos a propelente sólido garantiu o início da era espacial no Brasil, a tecnologia de sistemas propulsivos a propelente líquido deverá consolidar uma nova realidade que viabilizará o desenvolvimento de uma nova geração de foguetes no país.

Diversas ações foram e continuam sendo implementadas de forma a capacitar o IAE a atuar neste novo cenário tecnológico. Basicamente, essas ações têm sido orientadas para três direções: formação de pessoal especializado, construção de instalações de testes e desenvolvimento de tecnologias de fabricação.

Como resultados dessas ações podem-se citar: formação de mestres por meio de um programa de Mestrado Profissionalizante em Engenharia Aeroespacial MPEA em parceria com o ITA, MAI (Moscow Aviation Institute) e contando com o apoio da Fundação Casimiro Montenegro Filho FCMF; projetos de motores-foguete; ampliação da capacidade de realização de ensaios; contratos internacionais para serviços de consultoria em especialidades não totalmente dominadas por pesquisadores do IAE; e parcerias com empresas nacionais para pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de fabricação.

Motores-foguetes para propulsão espacial

Um motor-foguete a propelente sólido (MFPS) é uma classe de motor de aplicação espacial em que o propelente, mistura heterogênea de combustível e oxidante, preenche quase totalmente um vaso de pressão denominado envelope motor.

O propelente é preparado e moldado no envelope motor com geometria interna no formato do mandril de carregamento, projetado de forma a atender as especificações da curva de empuxo necessária. Após a cura do propelente, o mandril é retirado e o bloco de propelente adquire características de um material visco elástico, podendo este bloco ter geometria interna em diversos formatos como, por exemplo, estrela, roda de vagão, cigarro, etc. Uma vez que o propelente é ignitado, a chama se propaga desta superfície inicial tanto radialmente como

axialmente, dependendo da geometria, consumindo todo o propelente (Oliveira, 2008).

Entre o envelope motor e o propelente, existe uma proteção térmica constituída por uma camada de borracha e um revestimento adesivo (*liner*), com a finalidade de não permitir que a alta temperatura dos gases da combustão do propelente danifique o envelope motor, o qual integra a estrutura do foguete. O ignitor tem a função de iniciar a combustão do propelente dentro da câmara, enquanto o propelente e o isolante interno protegem o envelope motor dos gases quentes. A tubeira converte a energia térmica dos gases da combustão em energia cinética para geração de empuxo.

Já em um Motor-Foguete a Propelente Líquido (MFPL), combustível e oxidante no estado líquido são estocados em tanques distintos e, durante a operação do motor, ambos são injetados na câmara de combustão para a queima. Os gases quentes, resultantes da combustão, são acelerados até velocidades supersônicas em uma tubeira para geração de empuxo.

Os elementos básicos da câmara de empuxo são o cabeçote de injeção, a câmara de combustão, a tubeira, o sistema de ignição, os sistemas de alimentação e distribuição dos propelentes.

Em MFPL, cuja aplicação requeira elevado desempenho, utiliza-se câmara de empuxo com refrigeração regenerativa, que consiste de uma câmara de parede dupla, com um canal interno, conectadas por meio de um processo especial de soldagem. A parede interna, cujo material normalmente é uma liga de cobre, é usinada em forma de canais longitudinais ou helicoidais para a passagem do líquido de refrigeração e a parede externa em aço inoxidável. Desta forma, o combustível, antes de ser injetado na câmara de combustão, passa por esses canais, retirando o calor do metal em contato com os gases quentes da câmara, reduzindo assim a temperatura da parede interna (Almeida, Shimote, Niwa, 1999).

Operacionalmente, cada uma dessas classes de motores apresenta particularidades que os tornam vantajosos ou não, dependendo dos requisitos técnicos do foguete. De uma forma geral, pode-se dizer que o MFPS tem tecnologia de fabricação e integração mais simples, sendo, portanto, mais confiáveis, mas possui menor desempenho que um MFPL. Outras vantagens dos MFPL são: possibilidade de controle do módulo do vetor empuxo e da impulsão total ou do tempo de operação, que podem variar a cada missão e possibilidade de reignição do motor. Existem diversas configurações de projeto de MFPL, em uma delas, somente a câmara de empuxo é mantida em altas pressões (50 até 300 bar) mantendo os tanques a baixas pressões (1,5 a 2 bar) o que reflete diretamente na redução da massa estrutural do foguete (Fig. 1). Neste tipo de MFPL há a necessidade de inclusão de um sistema de turbobomba e gerador de gás para alimentação da câmara de empuxo. Porém, a inclusão deste sistema implica em aumento da complexidade e maior

probabilidade de falha. Além disso, pesquisas em diversas áreas do conhecimento devem ser realizadas com o objetivo de estudar os fenômenos físicos e químicos que ocorrem no escoamento desde os tanques até a saída da tubeira. Isso exige uma equipe de engenheiros e pesquisadores altamente especializada, associada a uma estrutura de bancos de testes de pesquisa para verificação dos processos. As validações das simulações computacionais de métodos numéricos e analíticos utilizados podem ajudar na compreensão destes processos (Santana, 2005).

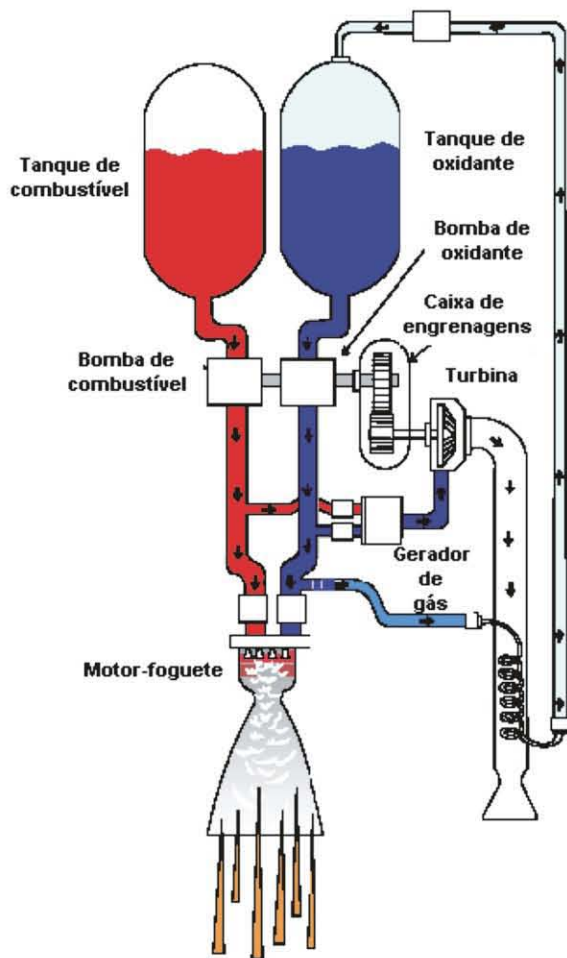


Figura 1: Esquema funcional de um MFPL acionado por turbobomba.

Para atuar neste novo cenário, a Divisão de Propulsão Espacial foi idealizada para organizar, planejar, coordenar, executar e controlar as atividades de desenvolvimento de motores-foguetes a propelente líquido, servindo como um vetor para implantar as mudanças necessárias (Barbosa, 2006).

Formação de recursos humanos

O domínio da tecnologia para projeto, fabricação, testes e operação de motores-foguetes a propelente líquido é uma meta a ser alcançada dentro do Programa Nacional de

Atividades Espaciais (PNAE), a fim de possibilitar o desenvolvimento de lançadores de satélites com melhor desempenho e precisão (PNAE, 2005).

No campo espacial, o IAE tem procurado capacitar recursos humanos para acompanhar o progresso nesse setor. O Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA, o Moscow Aviation Institute - MAI e a Fundação Casimiro Montenegro Filho FCMF surgiram então como parceiros naturais dessa empreitada.

Este esforço resultou num curso de Mestrado Profissionalizante com foco em projeto de MFPL, estando em andamento as terceira e quarta turmas. Ao ITA cabe a coordenação do curso e à FCMF, a execução do apoio técnico. O curso é ministrado por professores do MAI, com aulas teóricas e projetos no ITA e trabalhos de laboratório no MAI. As orientações das dissertações ficam a cargo de professores do ITA e pesquisadores do IAE. Deve-se mencionar, ainda, que está em preparação um novo curso para início em 2010, que diferentemente dos anteriores, terá como foco veículos e estágios de foguetes equipados com MFPL.

Este convênio já tem produzido algum benefício, pois os recursos humanos formados já estão atuando na área, aumentando desta forma a capacidade de especificar, projetar, fabricar, ensaiar e integrar sistemas complexos propulsivos.

Poucos países conseguiram alcançar o domínio da tecnologia de desenvolvimento de MFPL líquido até o presente momento, dentre os quais os de maior relevância são: Estados Unidos, Rússia, França, China, Índia e Japão.

Na Rússia, uma das mais importantes universidades voltada para a formação e especialização de engenheiros para a área espacial é o MAI, notadamente pela cooperação entre três de suas faculdades, as quais são voltadas para as áreas de construção de foguetes, motores e sistemas de controle.

Dedicada ao ensino da tecnologia de motores para aviões e foguetes, a Faculdade de Motores foi responsável pela formação e especialização de várias gerações de engenheiros de MFPL para o programa espacial russo, graças ao corpo docente e instalações laboratoriais de excelência. Por estas razões, a participação de especialistas brasileiros em programa de treinamento com professores do MAI está sendo uma oportunidade ímpar.

O curso é desenvolvido em duas fases. A primeira, com duração de um ano, nas instalações do ITA, num total de 800 horas. Todas as disciplinas contam com material didático elaborado pelos professores do MAI. Esta fase contempla ainda, 15 práticas laboratoriais nas instalações do MAI.

A segunda fase, também com duração de um ano, é realizada nas instalações do IAE e é dedicada ao desenvolvimento das dissertações em assuntos de interesse,

na área de MFPL, com consultoria dos professores do MAI e sob orientação dos professores do ITA e pesquisadores do IAE.

Atividades

O IAE tem como missão desenvolver atividades de pesquisa e desenvolvimento no campo aeroespacial, com ênfase nas áreas de materiais, foguetes de sondagem, sistemas de defesa, sistemas aeronáuticos, ciências atmosféricas e ensaios de componentes aeroespaciais (RICA21-93).

A Divisão de Propulsão Espacial (APE) do IAE tem por atribuições: organizar, planejar, coordenar, executar e controlar as atividades de P&D na área de propulsão espacial, a fim de assegurar competência para especificar, projetar, fabricar, integrar e testar motores-foguetes e componentes do sistema de controle do vetor empuxo destinados a equipar veículos lançadores de satélites e foguetes de sondagem, em atendimento aos programas de interesse do Comando da Aeronáutica.

Como resultado das atividades da APE, diversos projetos estão em andamento e, para que os projetos desenvolvidos possam ser avaliados e aprimorados, diversos bancos de ensaios estão sendo projetados e construídos.

Projetos

Atualmente, os projetos em desenvolvimento no IAE são os seguintes:

- **Motor-Foguete L5**

O MFPL L5 de 5 kN de empuxo (Fig. 2) foi projetado com a finalidade de substituir o atual propulsor do quarto estágio do VLS-1, a propelente sólido, em um veículo “hipotético” denominado VLS-L4, cujos três primeiros estágios seriam idênticos ao do atual veículo lançador de satélites VLS-1.

O nível de empuxo deste motor foi definido por otimização, levando-se em conta as características da missão do VLS-L4, ou seja, fazer a inserção direta de cargas-úteis de até 427 kg em órbitas polares circulares e com 200 km de altitude (Sikharulidze et al., 2001). A partir da especificação da missão, também foram definidos outros parâmetros propulsivos, tais como tempo de operação e impulsão total. A Tabela 1 apresenta as principais características deste motor.

O projeto L5 está permitindo desenvolver a tecnologia de propulsão líquida, levando em consideração:

- As limitações tecnológicas existentes no Brasil e a perspectiva de se produzir motores de maior porte;
- O emprego de propelentes não agressivos ao meio ambiente, ou que apresentem baixo grau de toxicidade ou baixo risco a segurança durante o manuseio e ensaios;

- A utilização matérias-primas e propelentes de fácil aquisição, disponíveis no país, principalmente pelo fato de que há de se executar uma grande quantidade de ensaios;

- O aproveitamento a capacidade instalada no IAE, já pronta, para ensaiar o motor ora em desenvolvimento, minimizando, assim, os custos decorrentes de obras e construção de instalações.



Figura 2: MFPL L5.

Tabela 1: Características principais do MFPL L5

Características	
Empuxo no vácuo	5 kN
Propelentes	Querosene/LOX
Sistema alimentação	Pressurizado
Pressão de câmara	10 bar
Fluxo de massa	1,62 kg/s
Razão de mistura O/F	1,86
Impulso específico	314 s
Velocidade característica	1760 m/s
Razão de expansão de áreas	64

• Motor-Foguete L15

O L15 (Fig. 3) é um motor foguete que utiliza propelentes líquidos com alimentação da câmara por meio de pressurização direta dos tanques. Tem como especificação funcional gerar empuxo de 15 kN ao nível do mar para aplicação no foguete de sondagem VS-15. O desenvolvimento desse motor é uma parceria entre IAE e a empresa Orbital Engenharia, com recursos orçamentários da FINEP, Orbital e AEB. O diferencial em relação ao motor L5 é a utilização do sistema de refrigeração regenerativa que tem como principal desafio tecnológico a usinagem dos canais de refrigeração e brasagem do invólucro externo da câmara de empuxo que garantirá a passagem do líquido de refrigeração.



Figura 3: MFPLL15.

Este motor foi projetado para operar com álcool etílico e oxigênio líquido e, pelo fato da alimentação da câmara ser obtida por pressurização dos tanques de propelentes, a pressão de operação da câmara de combustão é relativamente baixa, comparado com motores com alimentação por meio de turbobomba. A Tabela 2 apresenta as principais características deste motor.

Tabela 2: Características principais do MFPLL15.

Características	
Empuxo no vácuo	15 kN
Propelentes	Álcool/LOX
Pressão de câmara	16,5 bar
Sistema alimentação	Pressurizado
Fluxo de massa	6,37 kg/s
Razão de mistura O/F	1,58
Impulso específico	240 s
Velocidade característica	1421 m/s
Razão de expansão de áreas	4,8

• Motor Foguete L75

O L75 (Fig. 4) é um motor foguete com alimentação da câmara por meio de turbobomba que utilizará propelentes líquidos. Tem como especificação funcional gerar empuxo de 75 kN no vácuo para uso em estágio superior de um veículo lançador de satélite. A Tabela 3 apresenta as principais características deste motor foguete.

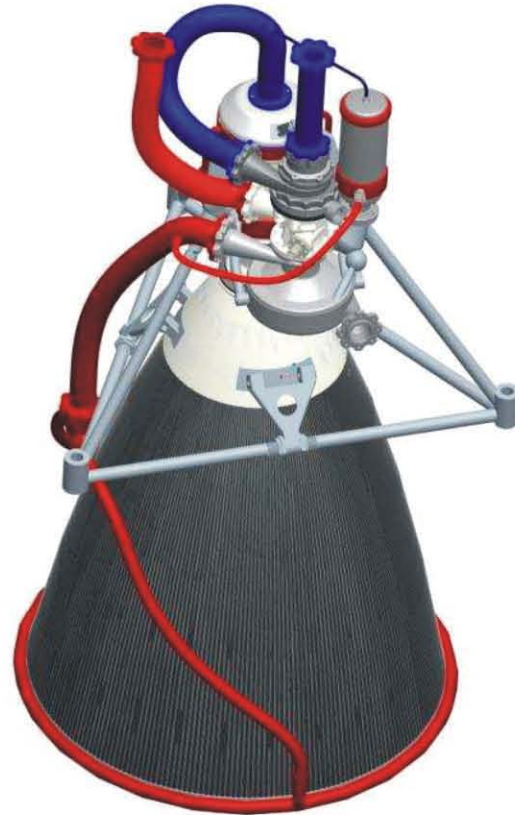


Figura 4: MFPLL75.

Tabela 3: Características principais do MFPLL75.

Características	
Empuxo no vácuo	75 kN
Propelentes	Querosene/LOX
Sistema alimentação	Turbobomba
Pressão de câmara	70 bar
Fluxo de massa	23,3 kg/s
Razão de mistura O/F	2,16
Impulso específico no vácuo	328 s
Velocidade característica	1740 m/s
Razão de expansão de áreas	94

O principal objetivo a ser alcançado durante o desenvolvimento deste motor será a capacitação, tanto de engenheiros e empresas, para projetar, fabricar e testar os diversos componentes do L75. Os principais desafios estão no projeto e fabricação da câmara de empuxo, da turbobomba, do gerador de gás e do sistema de controle e também a integração destes quatro subsistemas complexos. Para atingir este objetivo foi firmado um convênio entre IAE e EMGEPRON (Empresa Gerencial de Projetos Navais), estatal subordinada ao Comando da Marinha e com recursos provenientes da AEB para concepção, projeto, fabricação, montagem e testes do MFPL L75.

Durante a vigência deste convênio, as atribuições do IAE serão o planejamento, a coordenação, o controle das atividades técnicas e o estabelecimento dos objetivos de cada etapa. A EMGEPRON tem como atribuições, o planejamento, a coordenação, o controle das atividades administrativas e a execução de tarefas de seleção de fornecedores, licitação, contratação, aquisição e disponibilização de materiais e serviços.

Infra-estrutura

O IAE dispõe, atualmente, de bancos de testes tanto para pesquisa quanto para teste de MFPL e seus componentes. São os seguintes os bancos em operação ou em implementação:

- **Banco de 1 kN**

O Banco de ensaio experimental de motor-foguete a propelente líquido, em fase final de instalação, tem a capacidade de ensaiar motores-foguetes de 1 kN de empuxo e opera com oxigênio gasoso (GOX) e álcool etílico, é constituído de sistema para medição de empuxo, controle e aquisição de dados e de sistema de refrigeração do motor com água. A ignição do motor é realizada com o ignitor gás-dinâmico, desenvolvido no IAE e já disponível para operação.

Este banco de ensaio tem como principal finalidade a formação acadêmica dos alunos do MPEA, treinamento da equipe do laboratório de propulsão líquida e desenvolvimento de pesquisa nas áreas de transferência de calor e mecânica dos fluidos, de grande importância para a propulsão líquida.

- **Banco de 20 kN**

O Banco de 20 kN (Fig. 5) foi projetado para ensaios de queima de MFPL, de até 20 kN de empuxo que utilizam sistema de alimentação por meio de pressurização dos tanques e LOX/querosene ou LOX/álcool como propelentes e com pressões da câmara de combustão inferiores a 40 bar. Na pressurização dos tanques, é empregado nitrogênio gasoso.

Este banco, que atualmente é utilizado para ensaios dos motores L5 e L15, é pioneiro no IAE e servirá de base para

os futuros bancos de testes de maior porte.



Figura 5: Banco de ensaios a quente de MFPL.

- **Banco Hidráulico**

O Banco Hidráulico (Fig. 6), que utiliza água destilada como fluido de trabalho, é uma instalação que tem como objetivo principal a caracterização de componentes de motores-foguetes a propelente líquido.

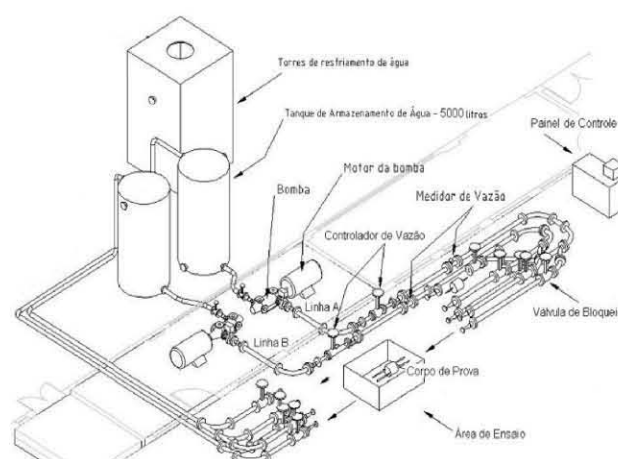


Figura 6: Banco de ensaios a frio para caracterização de componentes.

O banco é constituído basicamente da área de ensaio dos corpos de prova, do sistema de acionamento composto por bombas e motores elétricos, tanque de armazenamento de água destilada, sistema de filtragem, sistema de

arrefecimento de água e pelo sistema de controle e aquisição de dados. A área de ensaio é o local onde serão instalados e realizados os ensaios dos componentes do motor. É composto por um tanque de 2000 litros em aço inoxidável dotado de três tomadas de ensaio onde são feitas as conexões de alimentação e descarga dos corpos de provas através de juntas flangeadas.

Características:

- Vazão: até 30 kg/s;
- Pressão normal de trabalho: 35 bar;
- Pressão máxima: 70 bar que corresponde à pressão máxima fornecida pela bomba centrífuga, conhecida como pressão de “shut off” (quando a vazão é nula);
- Pressurização por bomba centrífuga multi-estágios acionada por motor elétrico controlado por variador de frequência.
- Potência: 180 HP (132kW) na condição de pressão e vazão máximas;
- Vazão: será controlada pela rotação da bomba juntamente com uma válvula de controle instalada na linha;
- Capacidade do tanque de armazenamento de água destilada: 5m³.

- **Banco de ensaio para estudo de instabilidade de combustão**

Este banco de teste (Fig. 7) está sendo desenvolvido para simular experimentalmente uma câmara de combustão de motor foguete a propelente líquido, com o objetivo de investigar a interação combustão-turbulência e seus efeitos na instabilidade de combustão, bem como estudar a validade dos modelos de cinética química adotados para os propelentes considerados.



Figura 7: Banco para estudo de instabilidade de combustão.

O banco permitirá também a investigação experimental nas áreas de propulsão, transferência de calor, instabilidade de combustão, interação combustão-turbulência, interação entre injetores com combustão, ignição e controle ativo e passivo de instabilidade de combustão.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Qualquer abordagem para o desenvolvimento de MFPL deve levar em consideração que a complexidade dos seus sistemas aumenta na medida em que se aumenta seu desempenho. Sistemas simples, como os pressurizados, não são utilizados em estágios inferiores pelo fato de que todo o sistema está submetido a altas pressões, tendo como consequência um aumento significativo da massa estrutural do foguete o que reduz sua eficiência. No entanto, são utilizados em sistemas de controle de atitude do foguete, em que o requisito desempenho é colocado em segundo plano priorizando-se neste caso a confiabilidade e a simplicidade. Em MFPL que utiliza turbobomba a complexidade aumenta e com ela a eficiência do sistema.

Neste caso a parte pressurizada se restringe ao trecho entre a saída das bombas até a câmara de empuxo o que reduz a massa estrutural dos tanques de propelentes, que estão a baixas pressões, e permite a utilização de pressões de câmara mais elevadas.

Como o impulso específico aumenta com a pressão na câmara o desempenho do foguete também se eleva. Estes dois tipos de MFPL já estão sendo desenvolvidos no IAE, quais sejam, o L5 e o L15 que têm pressurização dos tanques, e o L75 com turbobomba de ciclo aberto, e servirão de base para os futuros desafios. Estudos de MFPL de ciclo aberto utilizando etanol e LOX estão em elaboração com fins comparativos e cujos resultados deverão ser discutidos com vistas à uma possível aplicação deste propelente em futuros projetos.

CONCLUSÃO

Foram apresentados, neste artigo, os trabalhos que estão em andamento no IAE e algumas sugestões para desenvolvimento da tecnologia de propulsão líquida no Brasil, considerando a experiência de países que já ultrapassaram esta fase inicial e foram bem sucedidos.

As primeiras ações neste sentido foram iniciadas na década de 90 com a formação de recursos humanos e parcerias com instituições de países detentores do conhecimento e, posteriormente, a nacionalização desta tecnologia utilizando os recursos humanos formados por meio de programas de especialização. A transferência gradual dos conhecimentos até a completa independência tanto em projeto, fabricação ou testes, deve ser a meta a ser seguida.

Salienta-se que os esforços realizados até então, e que

necessitarão ser incrementados nos próximos anos, fazem parte da estratégia de desenvolvimento próprio (no Brasil) de motores-foguetes e devem estar alinhada com as estratégias dos órgãos governamentais, devido ao fato que a via alternativa, ou seja, a compra dos motores-foguetes no exterior, poder causar a descontinuidade do programa espacial para lançamentos de satélites em caso de embargos econômicos e tecnológicos.

REFERÊNCIAS

Almeida, D. S., Shimote, W. K., Niwa, M., 1999, "Selection of Materials for Combustion Chamber of Liquid Propellant Rocket Engine". 15º Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, COBEM, Águas de Lindóia, Brazil.

Barbosa, F. I. et al., 2006, "Proposta para a Criação da Divisão de Propulsão Espacial", IAE, São José dos Campos, Brazil. (Relatório Técnico).

Oliveira, U.C., 2008, "Motores-Foguete dos Veículos Nacionais". 5º Congresso Nacional de ENGENHARIA Mecânica, CONEM, Bahia, Brazil.

PNAE, 2005, "Programa Nacional de Atividades Espaciais 2005-2014: AEB - Agência Espacial Brasileira", Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, Brazil.

RICA 21-93, 2007, "Regimento Interno do Instituto de Aeronáutica e Espaço", IAE, São José dos Campos, Brazil.

Santana Jr., A., 2005, "Proposta de Plano de Trabalho para 2006-2007", IAE, São José dos Campos. (Relatório Técnico 010-100000/A0002).

Sikharulidze, Y., Barbosa, F. I., Pereira, F. C. V., Tamashiro, R. Y., 2001, "Ballistic Analysis of VLS-1 Modification by the Use of Liquid-Propellant Rocket Engine". IAE, São José dos Campos (Relatório Técnico 007/ASE/01).