



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Novos Sistemas Propulsivos para Satélites e Plataformas Espaciais

Fernando de Souza Costa

Ricardo Vieira

Rodrigo Intini Marques

Laboratório Associado de Combustão e Propulsão

Email: fernando@lcp.inpe.br

www.lcp.inpe.br

Workshop de Inovação INPE

25 e 26 de agosto de 2016



DIVISÕES DO INPE RELACIONADAS À PROPULSÃO

Laboratório Associado de Combustão e Propulsão

- Pesquisas e desenvolvimento em propulsão química e elétrica
- Testes e qualificação de propulsores
- Formação de recursos humanos (PG em combustão e propulsão)
- Interação com a Indústria, Universidades e Centros de Pesquisa

Laboratório Associado de Plasma

- Pesquisa e desenvolvimento de propulsores iônicos

Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espaciais

- Desenvolvimento de tecnologia de propulsão e transferência para a indústria



Laboratório Associado de Combustão e Propulsão

- Criado em 1968
- Localizado em Cachoeira Paulista, São Paulo (100 km de São José dos Campos)

Principais instalações:

- **Banco de Testes com Simulação de Atitudes - BTSA**
 - Testa e qualifica propulsores mono e bipropelentes até 200 N
 - Propelentes: hidrazina, MMH, UDMH, N₂O₄
 - Outros propelentes podem ser testados com algumas modificações
- **Banco de Testes em Condição Atmosférica - BTCA**
 - Desenvolvimento inicial de propulsores monopropelentes, bipropelentes, sólidos e híbridos até 2000 N
- **Laboratório de Análise de Propelentes**
 - Determina impurezas em propelentes segundo normas MIL
- **Laboratório de Catálise**
 - Ir, Ru, Pt + alumina
 - WC, etc
- **Laboratório de Catálise de Propelentes Limpos**
 - H₂O₂, N₂O, etanol, etanolamina

UNIDADE DE CACHOEIRA PAULISTA



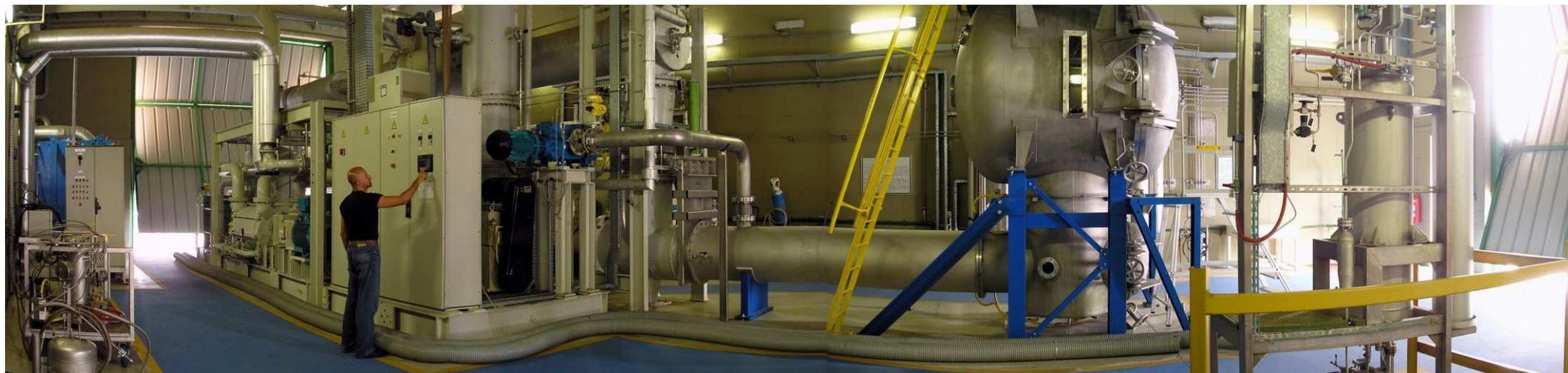
BANCO DE TESTES COM SIMULAÇÃO DE ALTITUDES- BTSA





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

CÂMARA DE VÁCUO PRINCIPAL - BTSA





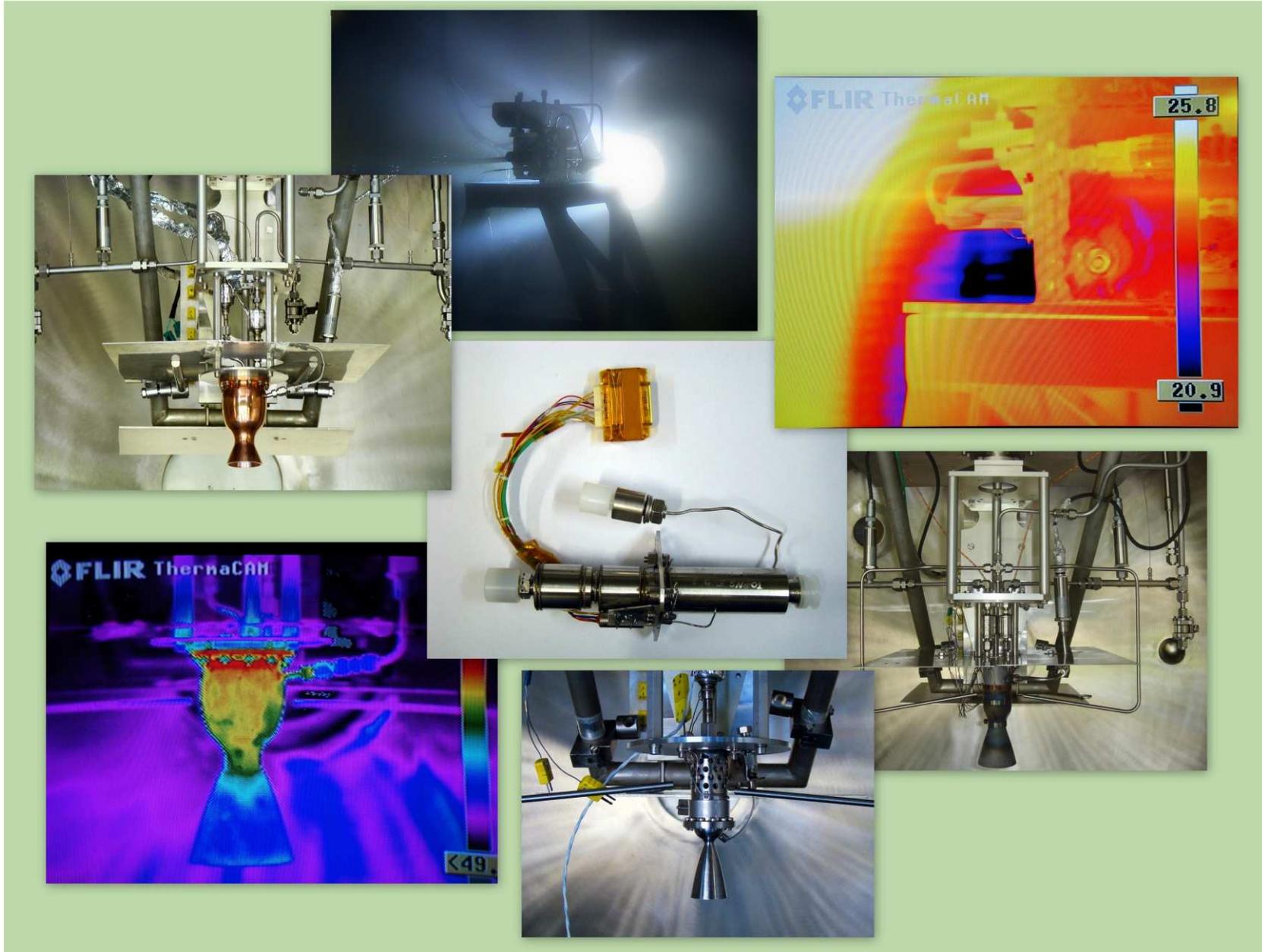
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

SALA DE CONTROLE - BTSA



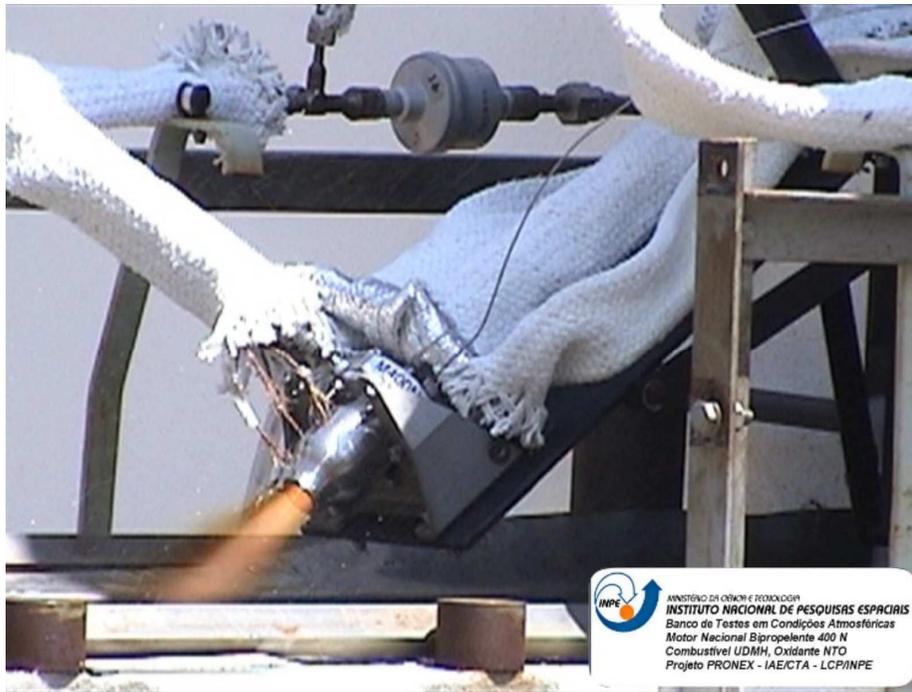


PROPULSORES TESTADOS NO BTSA





TESTES DE PROPULSORES NO BTCA (CONDIÇÃO AMBIENTE)



Bipropelente de 400 N – UDMH + NTO



Híbrido de 200 N – parafina + NTO



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

LABORATÓRIO DE CATÁLISE DE PROPELENTES NÃO TÓXICOS (GREEN PROPELLANTS)



Atividades com H_2O_2 no LCP

Concentração do H_2O_2

Desenvolvimento do catalisador



*Concentrador de H_2O_2
de 70 % a 95% m/m*



*Teste da gota
usando catalisador
de óxidos de Co, Mn e Al*



Atividades com H_2O_2 no LCP

Concentração do H_2O_2

Desenvolvimento do catalisador



*Concentrador de H_2O_2
de 70 % a 95% m/m*

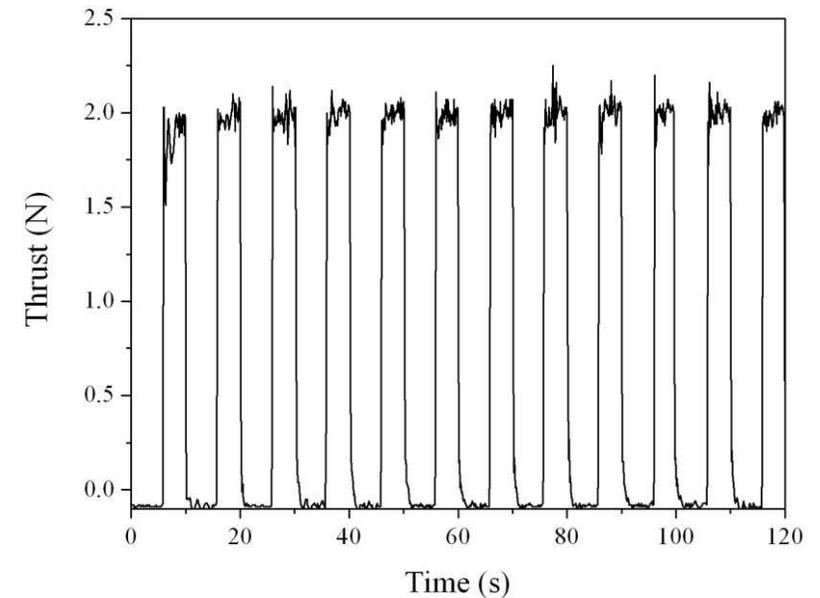
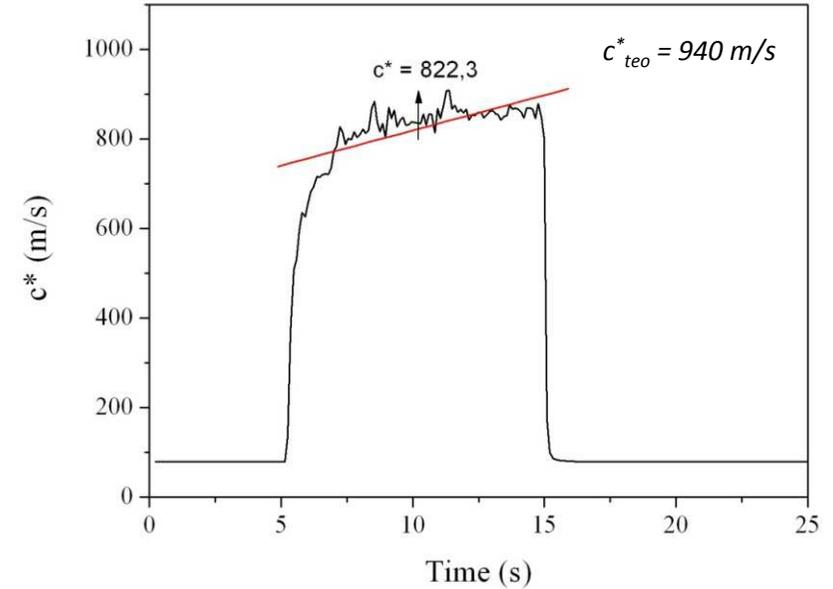


*Teste da gota
usando catalisador
de óxidos de Co, Mn e Al*



Atividades com H_2O_2 no LCP

Teste Propulsor 2 N com H_2O_2

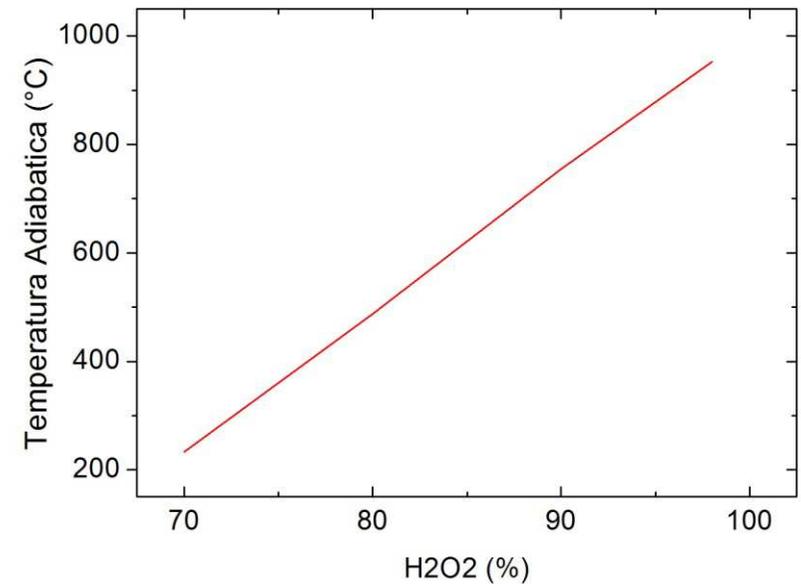


Eficiência da Velocidade Característica de 87%



Atividades com H_2O_2 no LCP

Spin-off - Geração de vapor



Aplicações: turbobombas, extração de petróleo e limpeza de dutos...



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Atividades com H_2O_2 no LCP

Teste Propulsão Híbrida - H_2O_2 x Parafina



Determinação da taxa de regressão da parafina

Atividades com H_2O_2 no LCP

Desenvolvimento de um Par Hipergólico



*Teste de hipergolicidade
de H_2O_2 90% com
Etanol/Etanolamina*



*Estudo do tempo de indução em
injetor de jatos colidentes*

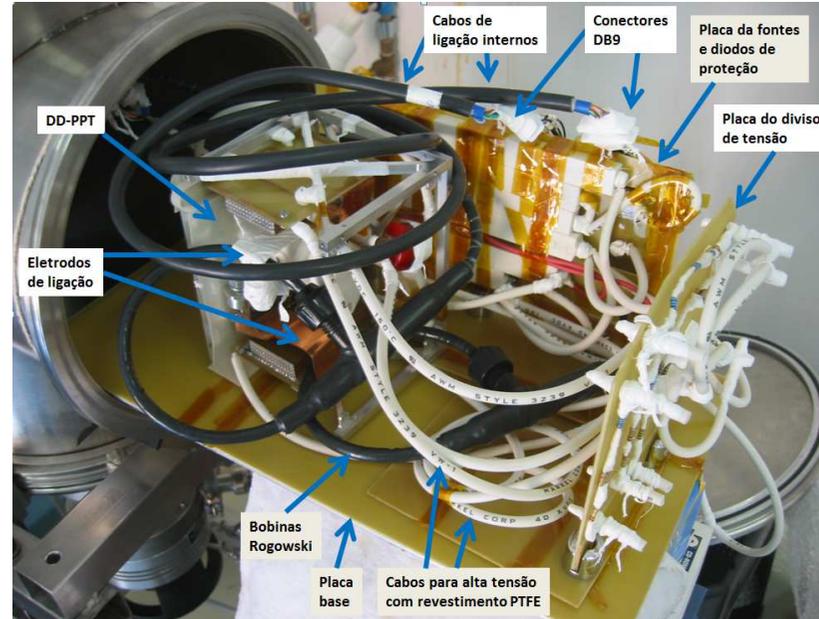
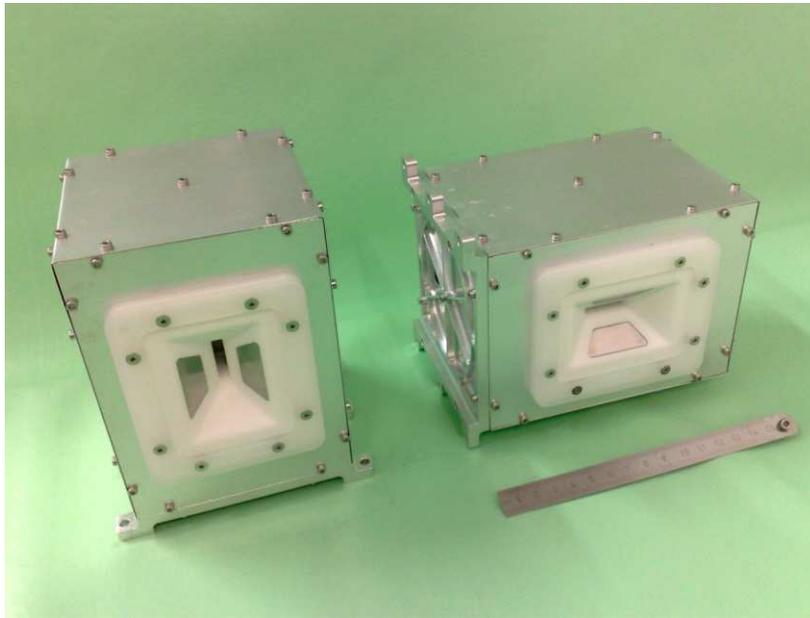


MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Propulsão Elétrica no LCP/INPE

Rodrigo Intini Marques
INPE / LCP

Desenvolvimento e Teste de Propulsores Elétricos no LPEL/LCP

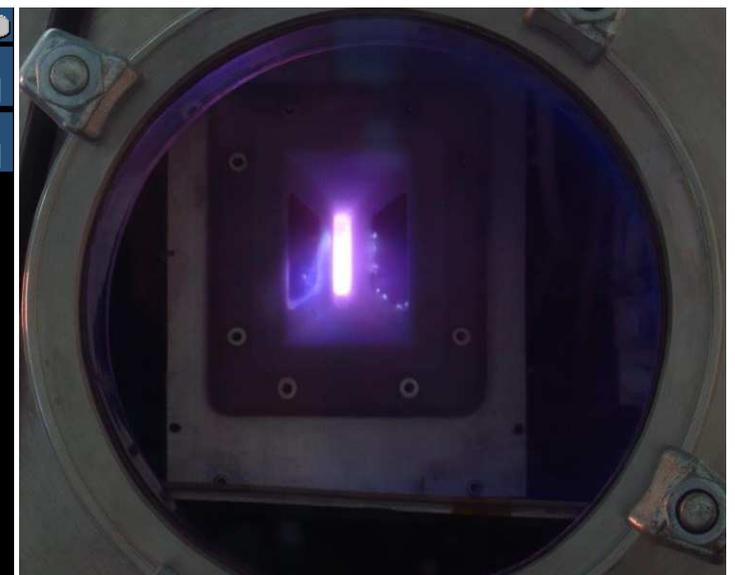
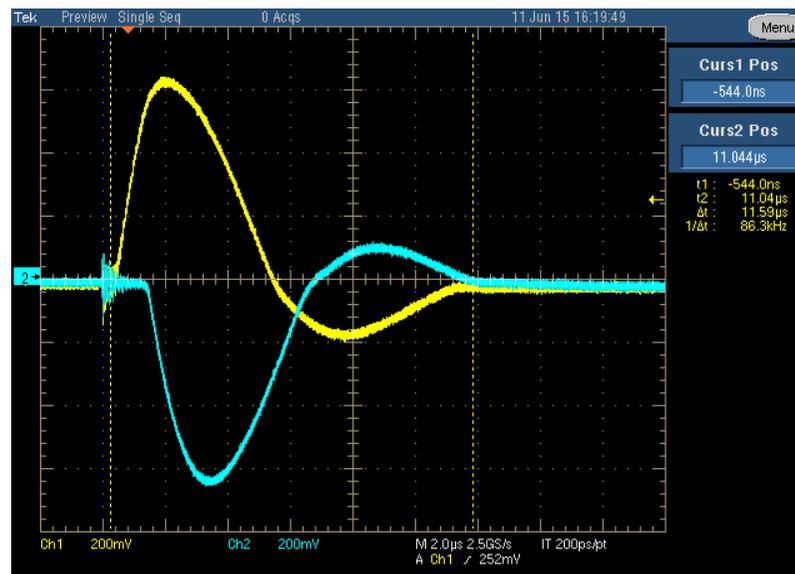


Pesquisa sobre a eficiência do propulsor em função da variação da distribuição de energia entre os estágios

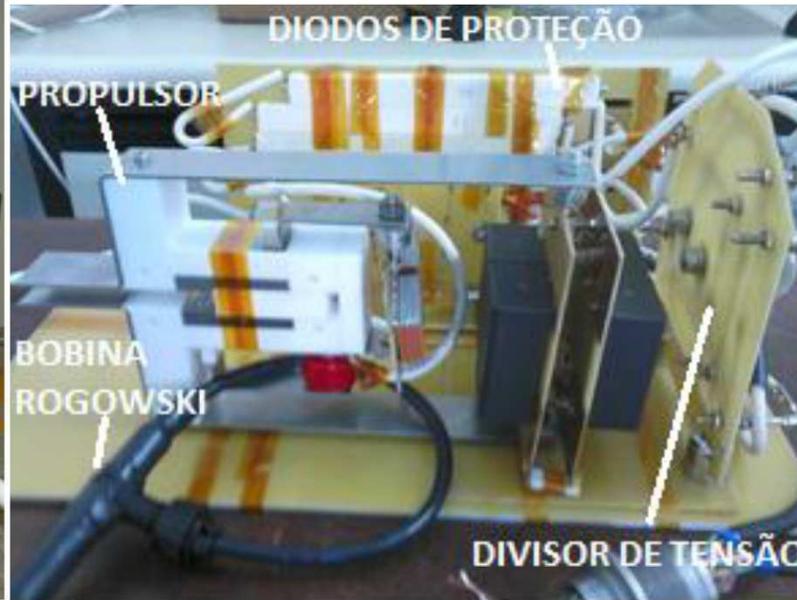
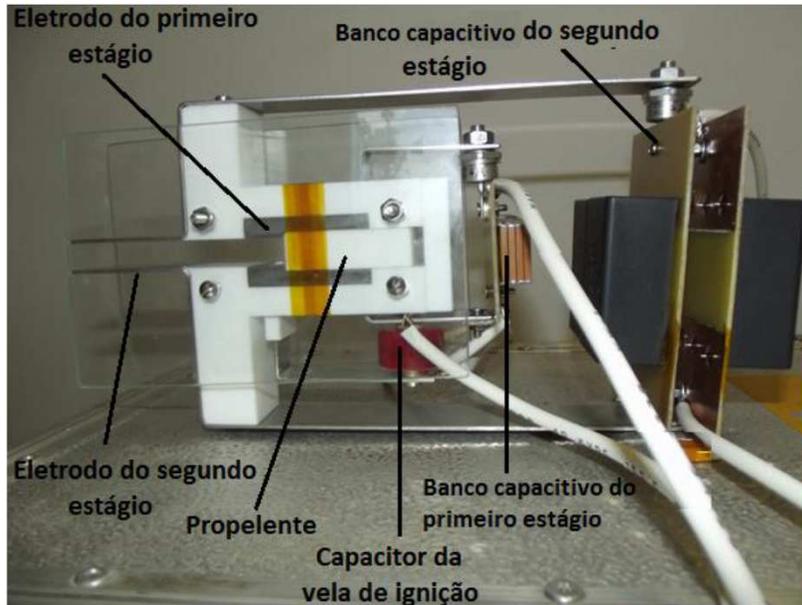
Desenvolvimento do DD-PPT X1

Thruster data

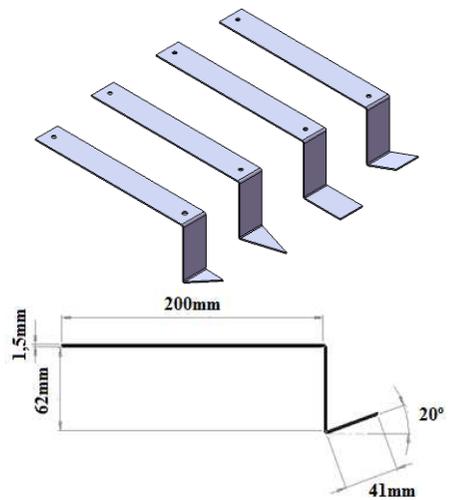
- Specific impulse: 1,524 – 3,606s
- Mass per shot: 1.11-1.42 μg
- Operating frequency: 0.4 Hz
- Inductance (Delta) 1st Stage: 23.1 $\mu\text{H/m}$
- Late Ablation Acceleration Mechanism (DD-PPT, Patent)
- Total Mass: 1.381 kg
- Power Consumption: 4W
- Impulse bit: 16.6 - 47.4 μNs
- Efficiency: 4.6 - 9.5%



Desenvolvimento e Teste de Propulsores Elétricos no LPEL/LCP



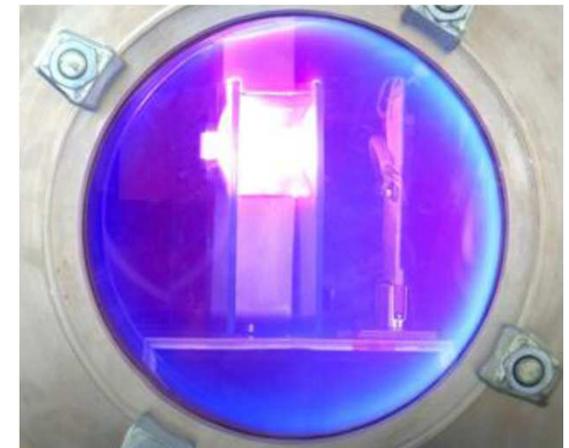
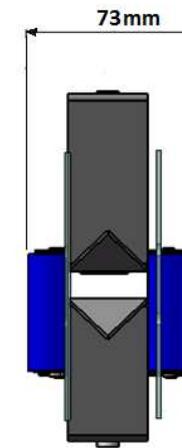
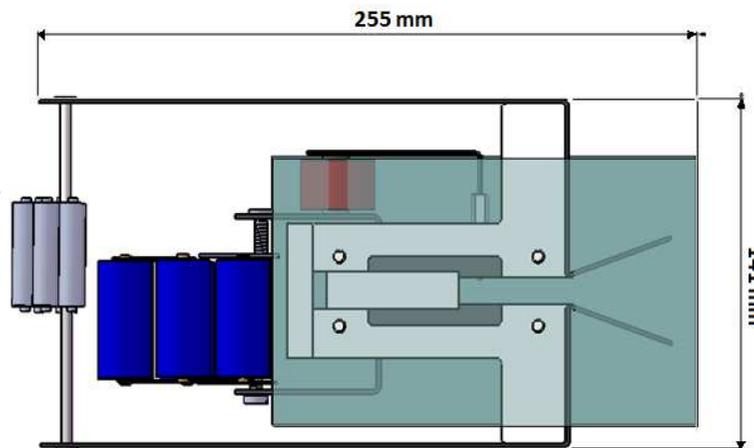
Pesquisa sobre a eficiência do propulsor em função da variação da geometria dos eletrodos secundários



Desenvolvimento do DD-PPT X2

Thruster data

- Specific impulse: ~ 908 s
- Mass per shot: 48 μg
- Operating frequency: 0.4 Hz
- Late Ablation Acceleration Mechanism (DD-PPT, Patent)
- Total Mass: 1.5 kg
- Power Consumption: 4 W
- Impulse bit: 427 - 920 μNs
- Total efficiency 4.8% - 22.2%
-



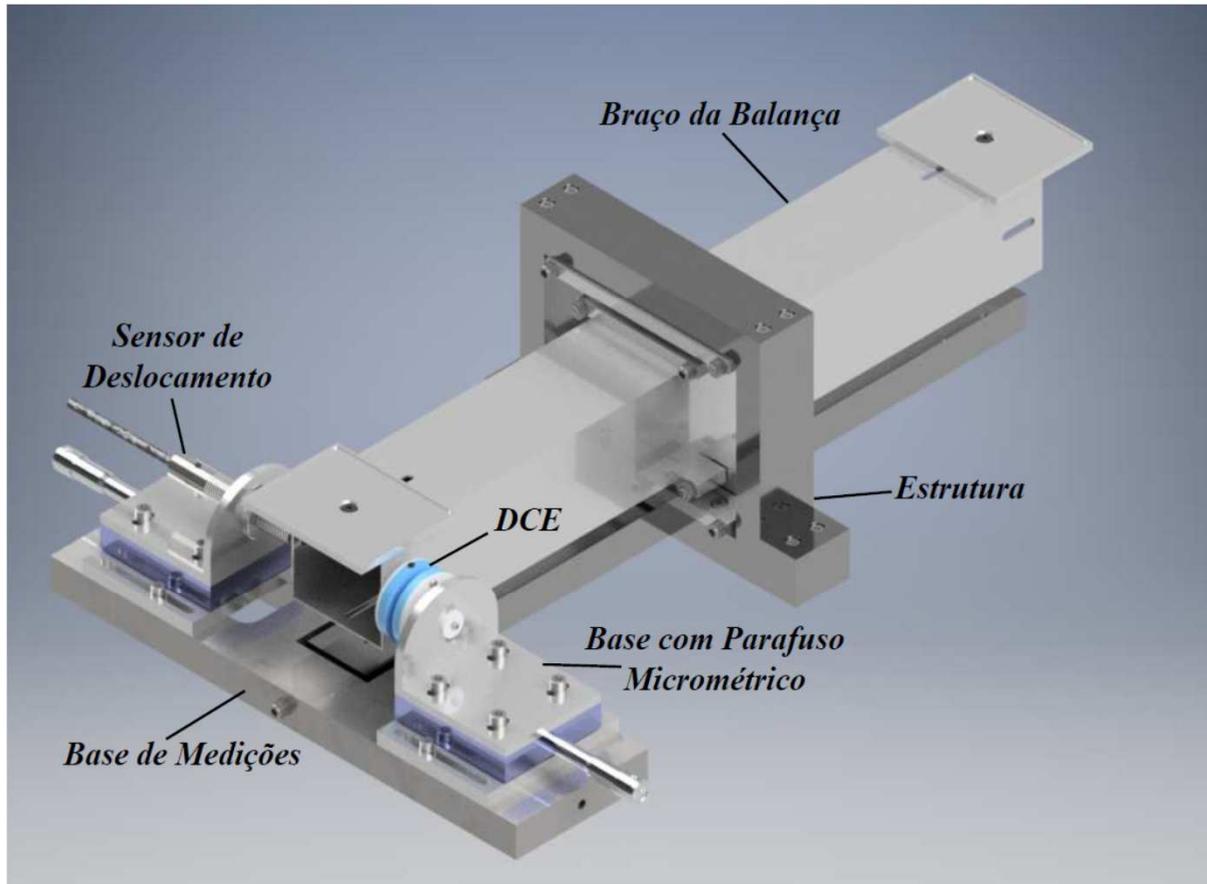
Nova câmara de simulação espacial com sistema de bombeamento criogênico para desenvolvimento de propulsores elétricos do LCP



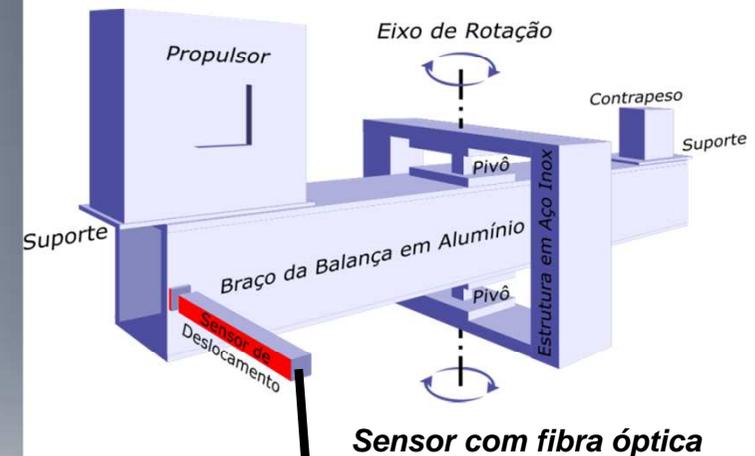
Instalação de testes em vácuo ITV 1
Capacidade de bombear 5200 l/s de Nitrogênio a uma pressão de 1×10^{-8} mbar
Com Válvula Gaveta e sensores de pressão.



Desenvolvimento de uma balança de empuxo para propulsores elétricos no LCP



Balança de empuxo para propulsores elétricos desenvolvida com apoio da FAPESP.



Unidade eletrônica



Osciloscópio Digital

- Balança de empuxo com resolução abaixo de $1\mu\text{N}$
- Medição de $20\mu\text{N}$ a $150\mu\text{N}$ (expansível)
- Incerteza entre 12% e 15%
- Sistema de calibração eletrostática
- Sistema óptico de medição de deslocamento – não invasivo.

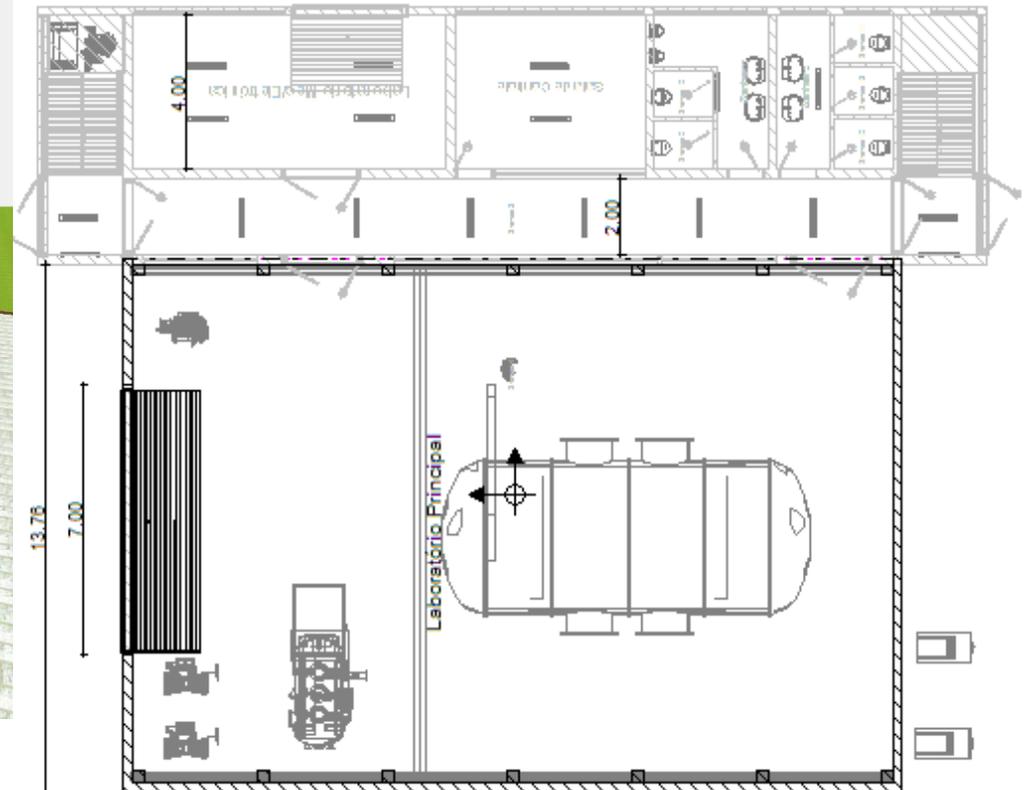


Banco de Testes de Propulsores Elétricos - BTPE



Projeto da câmara de vácuo e do prédio do BTPE

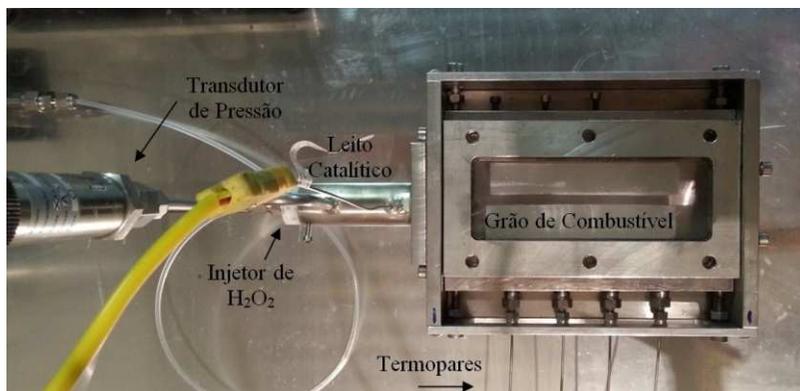
Pelo projeto PROPSAT, será construído e implementado o Banco de Testes de Propulsores Elétricos (BTPE), com recursos previstos de R\$ 4 milhões. Com a ampliação das instalações do LCP será possível qualificar propulsores elétricos para missões do programa espacial brasileiro ou mesmo atender a agências espaciais de outros países e a indústria espacial.



SISTEMAS DE PROPULSÃO HÍBRIDA

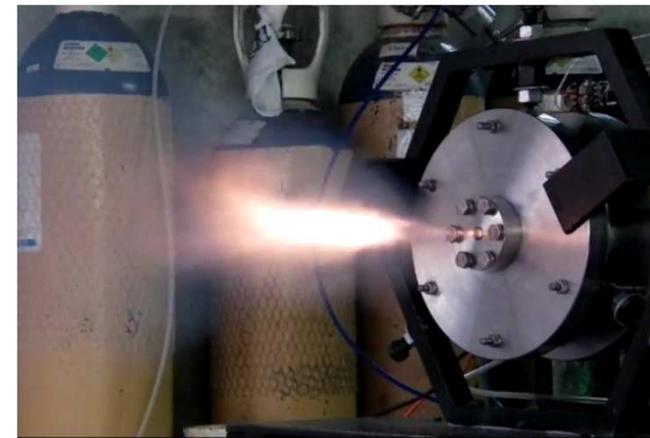
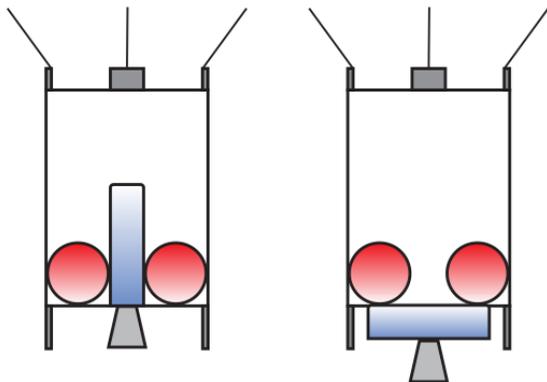
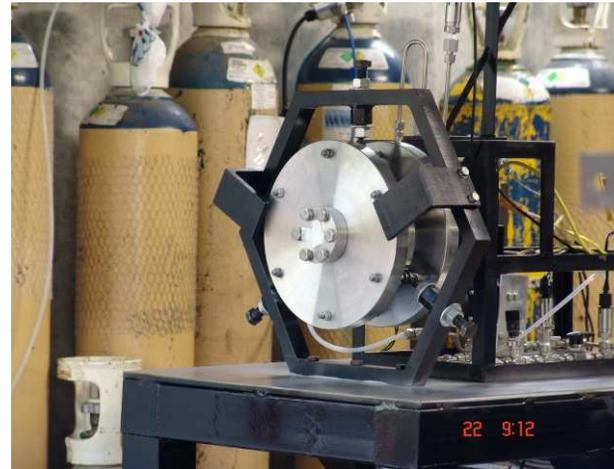
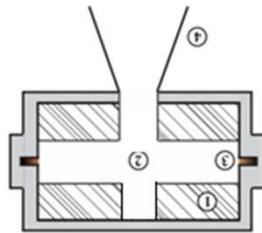
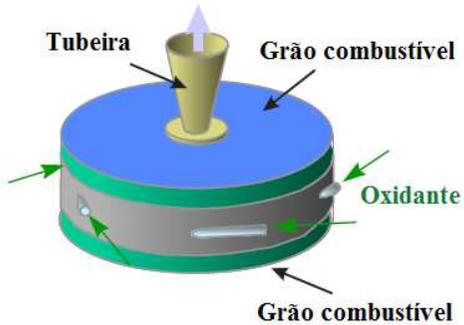
Propulsores híbridos apresentam vantagens em termos de custo, segurança de operação, armazenabilidade, toxicidade dos propelentes e impacto ambiental.

Foguetes híbridos fornecem impulsos específicos menores que os sistemas bipropelentes líquidos, porém maiores que sistemas a propelentes sólidos e a monopropelentes líquidos



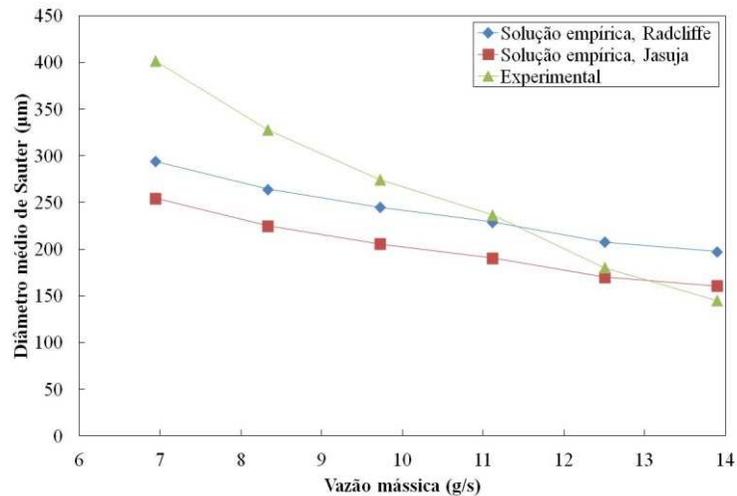
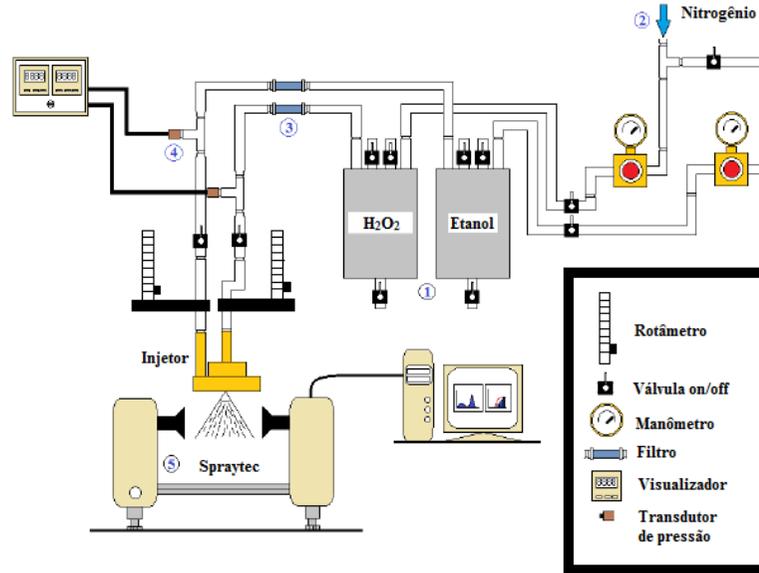
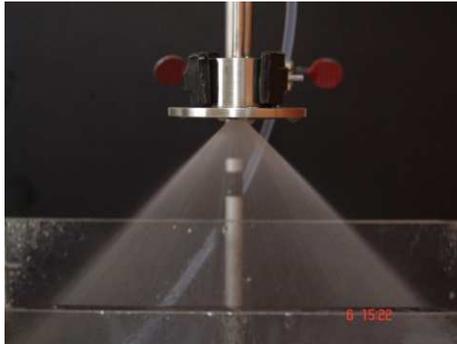
SISTEMAS DE PROPULSÃO HÍBRIDA

Propulsor Híbrido de Queima Dual e Injeção Vortical



INJETORES BIPROPELENTE

Modelamento teórico
Testes experimentais





PLANO DE EXPANSÃO DAS INSTALAÇÕES DE TESTE DE PROPULSORES DO INPE

- Bancada de testes com simulação de altitudes – atualização do hardware e software para realização de testes de propulsores até 200 N
- Banco de testes em condições atmosféricas – atualização de hardware e software para realização de testes de propulsores até 2000 N
- Projeto detalhado de propulsores com simulação de altitudes com empuxos até 1200 N
 - ✓ Combustíveis: hidrazina, MMH, querosene, etanol
 - ✓ Oxidantes: NTO, H_2O_2 , O_2 , N_2O
- Construção de uma bancada de testes de propulsores elétricos com empuxos de 1 a 100 micronewtons.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

FIM