



Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE
Divisão de Propulsão Espacial – APE
Laboratório de Propulsão Líquida – LPL

Banco de Teste de Motor Foguete

Instrumentação e Controle de Banco de Teste de Sistema e Componentes para Motores e Veículos Espaciais.



André Neves de Almeida Prado





Sumário

- Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE.
- Divisão e Propulsão Espacial – APE.
- Laboratórios - LP & LPL.
- Definindo as “Unit Under Test” - UUT e suas características.
- Bancos de Testes.
- Desafios.
- Conclusão.



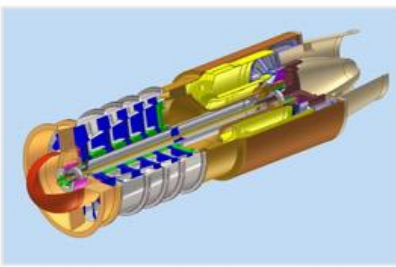


Instituto de Aeronáutica e Espaço

TECNOLOGIA AEROESPACIAL

MISSÃO

O Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE é a organização do Comando da Aeronáutica, diretamente subordinada ao Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial - CTA que tem por missão "Ampliar o conhecimento e desenvolver soluções científico-tecnológicas para fortalecer o Poder Aeroespacial Brasileiro, por meio da Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação, Operações de Lançamento e Serviços Tecnológicos em sistemas aeronáuticos, espaciais e de defesa".



PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

O IAE realiza pesquisa e desenvolvimento em áreas fundamentais do Campo Aeroespacial, entre as quais se incluem: Materiais, Estruturas, Propulsão, Aerodinâmica, Guiamento, Controle, Meteorologia, Explosivos, Pirotecnia, Telemetria, Sensores, Computação Embarcada e Acústica, entre outras. Esse esforço em busca da autossuficiência nacional em tecnologia aeroespacial vem, ao longo dos anos, promovendo significativas contribuições para o desenvolvimento social do País. O bem sucedido fomento da indústria aeronáutica brasileira e o reconhecimento internacional da competência do Instituto no desenvolvimento e lançamento de foguetes de sondagem são exemplos dessas contribuições.

PROJETOS

O IAE desenvolve projetos em consonância com as diretrizes estabelecidas pelo Comando da Aeronáutica - COMAER e em atendimento ao Programa Nacional de Atividades Espaciais - PNAE. Dentre os projetos em andamento destacam-se: Veículo Lançador de Satélites - VLS-1, Satélite de Reentrada Atmosférica - SARA, Veículo de Sondagem com "booster" - VSB-30, Sistema de Navegação para Veículo Aéreo Não Tripulado - NAV VANT, Turbina Aeronáutica de Pequena Potência - TAPP, Motor Aeronáutico FLEX, Missil AR-AR de curto alcance - MAA -1B, Missil Anti-Radiação - MAR-1, Materiais Resistentes ao Impacto Balístico-Marimba II, e Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética - MARE.





Programa Cruzeiro do Sul

Família de veículos com MFPL.

MFPL por ser mais eficiente permite:

- ✓ Cargas Úteis Maiores.
- ✓ Inserção em GSO* e GTO*.

→ Velocidades acima de:
 $V_{sat} > 7.900 \text{ m/s}$

GTO: Geosynchronous Transfer Orbit - típico 24.582 km/9.88 km/s

GSO: Geostationary Orbit - típico 35.786 km/3.07 km/s





Divisão de Propulsão Espacial

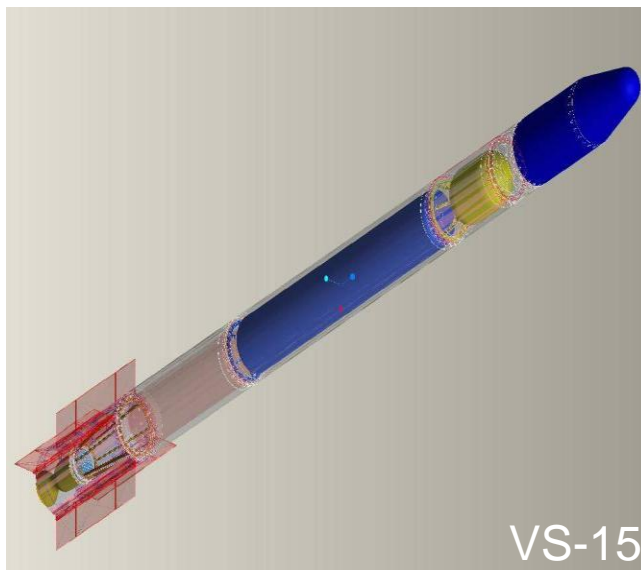
À DIVISÃO DE PROPULSAO ESPACIAL compete realizar actividades de pesquisa e desenvolvimento na área de motores foguete e componentes pirotécnicos.

- Fundada em 2009.
- Possui 04 seções:
 - ✓ Administrativo
 - ✓ Pesquisa & Engenharia
 - ✓ Ensaios
 - ✓ Pirotecnia

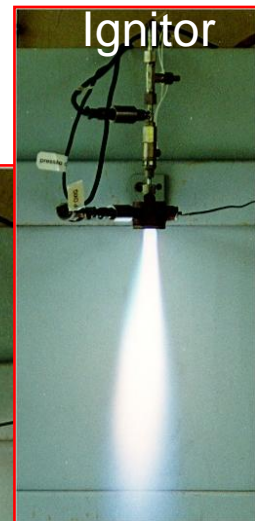
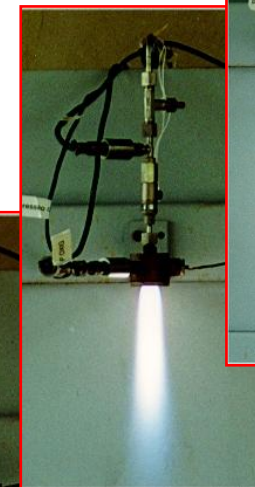
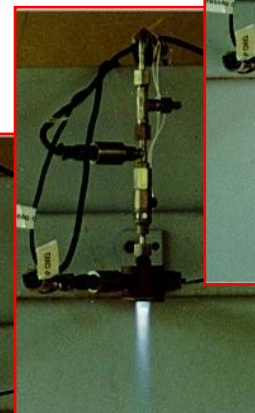
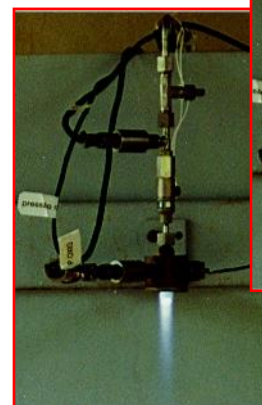


Projetos APE

- Sistema de Ignição a Gás Dinâmico
- Maçarico de Corte Térmico
- MFPL L75
- MFPL L15
- MFPL L05
- SAMF
- VS-15
- Outros



VS-15



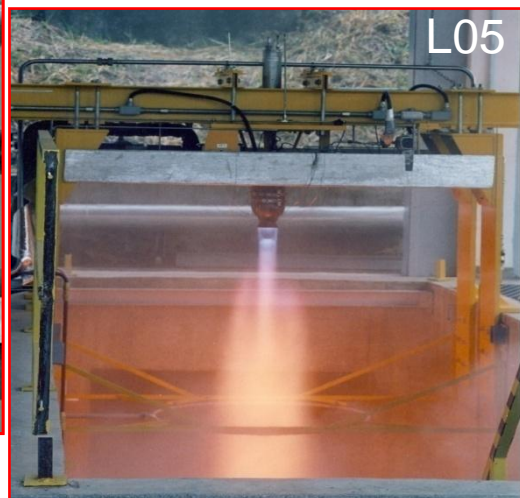
Ignitor



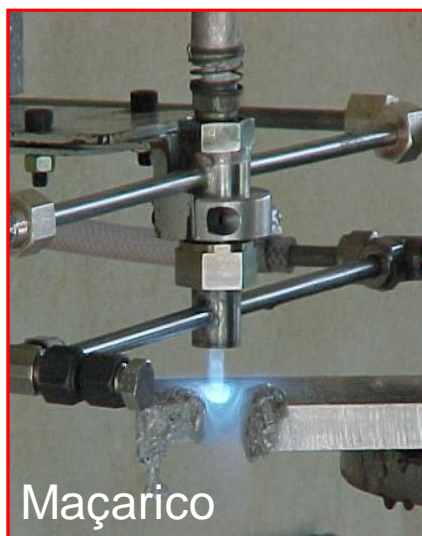
L75



L15



L05



Maçarico

Laboratório de Propulsão

- Laboratório responsável por executar testes de sistemas e componentes hidráulicos e pneumáticos dos veículos desenvolvidos pelo IAE.

Ensaios:

- ✓ Atuadores
- ✓ Injetores
- ✓ Acumuladores Hidráulicos
- ✓ Tubeira Móvel



Laboratório de Propulsão Líquida

- Laboratório responsável por executar testes de sistemas e componentes de motores foguetes a propelente líquidos.

Ensaaios

- ✓ Câmaras de Empuxo
- ✓ Cabeçotes
- ✓ Instab. Combustão
- ✓ PIV/LIF



- Laboratório de Propulsão - LP
 - Banco de Teste de Atuadores
 - Banco de Teste de Injetores
 - Banco de Teste da Tubeira Móvel
- Laboratório de Propulsão Líquida - LPL
 - Banco de Testes Hidráulicos
 - Banco de Estudos de Instabilidade de Combustão
 - Banco de Testes de 1kN
 - Banco de Teste de 20kN
 - Banco de Ensaios de Bombas – Em projeto
- Divisão de Propulsão Aeronáutica – APA*
 - Banco de Testes de Turbinas

Definindo Unit Under Test

UUT

O que é um Foguete

- Um foguete é uma máquina que se desloca expelindo atrás de si um fluxo de gás a alta velocidade.
- Por extensão, o veículo, que possui motor(es) de propulsão deste tipo é denominado foguete ou míssil.
- Normalmente, o seu objetivo é enviar objetos (especialmente satélites artificiais e sondas espaciais) e/ou naves espaciais e homens ao espaço.
- Um foguete é constituído por uma estrutura, um motor de propulsão por reação e uma carga útil. A estrutura serve para albergar os tanques de combustível e oxidante (comburente) e a carga útil.
- Existem várias formas de forçar os gases de escape para fora do foguete com energia suficiente para conseguir propulsionar o foguete para a frente (i.e., vários tipos de motor de foguete). O tipo mais comum, que inclui todos os foguetes espaciais que existem actualmente e que voaram até hoje, são os chamados foguetes químicos, que funcionam libertando a energia química contida no seu combustível através de processo de combustão. Estes foguetes necessitam de transportar também um comburente para fazer reagir com o combustível. Esta mistura de gases aquecidos é depois expandida numa tubeira divergente, a tubeira de Laval também conhecida como tubo de Bell, por forma a direccionar o gás em expansão para trás, e assim conseguir propulsionar o foguete para a frente. (Fonte - Wikipédia)

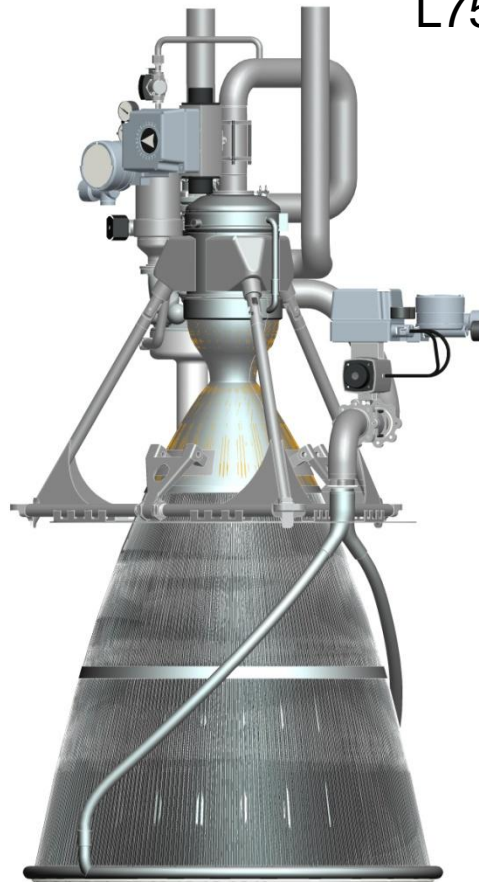
✓ **Foguete é o veículo que combina a maior quantidade de combustível na menor massa de veículo (Massa Seca) de modo a impulsionar uma carga útil.**

✓ **Motor Foguete é a máquina responsável por gerar o empuxo necessário para o veículo.**

Exemplos de Motores Foguetes



Bomba
V2



L75



L05



J1 – Saturn V
Programa Apollo



L15

Exemplos de Motores Foguetes

Motor Foguete à Propelente Líquido
MFPL-L05



Time: 0.0



MFPL-L75

ЖРД – РД 180

Veículos:

- Atlas 3 launch-vehicle - EUA
- Atlas 5 launch-vehicle - EUA

ЖРД – РД 171

Veículos:

- Energia launch-vehicle - Russia
- Zenit launch-vehicle - Ucrânia



гатель (ЖРД) →

дкостный = Líquido / P

тный = Foguete / D

гатель = Motor

Características da UUT

- Fenômenos de combustão interna de alta complexidade.
- Corpo de prova com dinâmicas de altas velocidades.
- Propelentes criogênicos, hipergólicos e/ou tóxicos.
- Requer um sistema de controle complexo, instrumentação com grande número de canais e sinais com amplo espectro em frequência.

Teste de Componentes

Testes de
Acumuladores



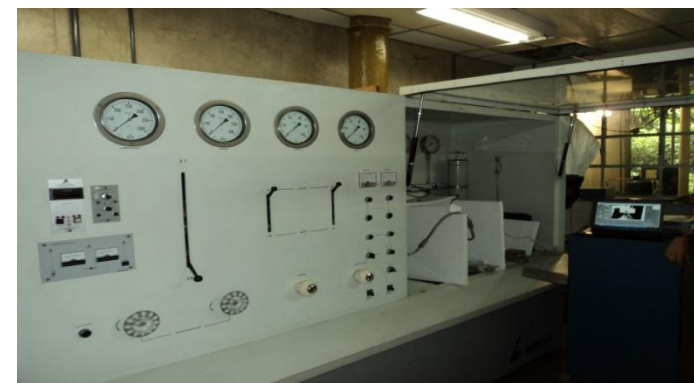
Testes de
Injetores

Testes de
Atuadores



Testes de
Reguladores

Testes Junta
Flexível



Teste de Componentes

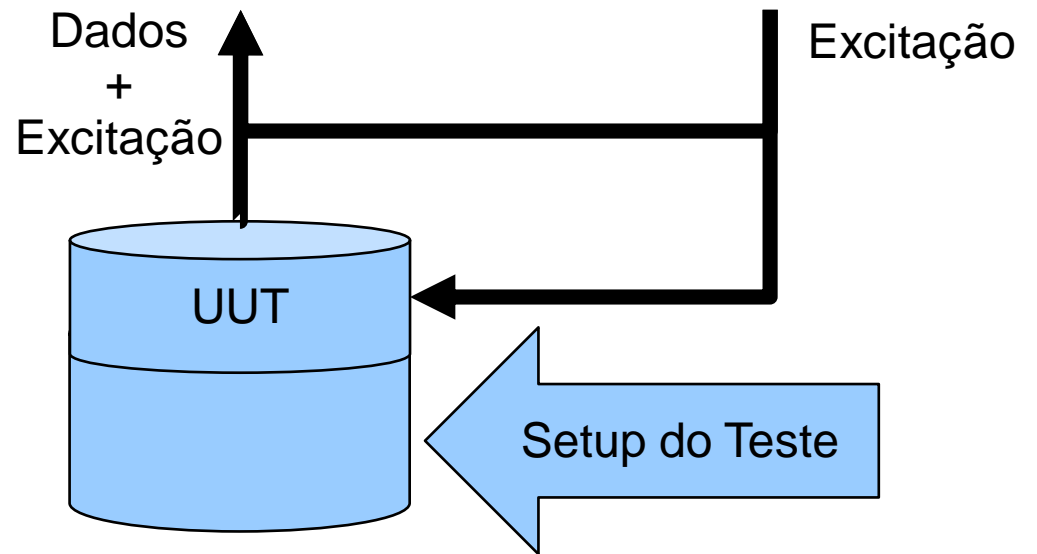
- DAQ – PXI e/ou PCI
- Vision
- LabVIEW



OU



OU





Banco de Ensaios Hidráulicos

- Identificar a perda de carga características de componentes do motor.
- Verificar a eficiência de componentes reguladores de vazão dos motores.
- Vazão de 60 l/s e Pressão de 40 Bar

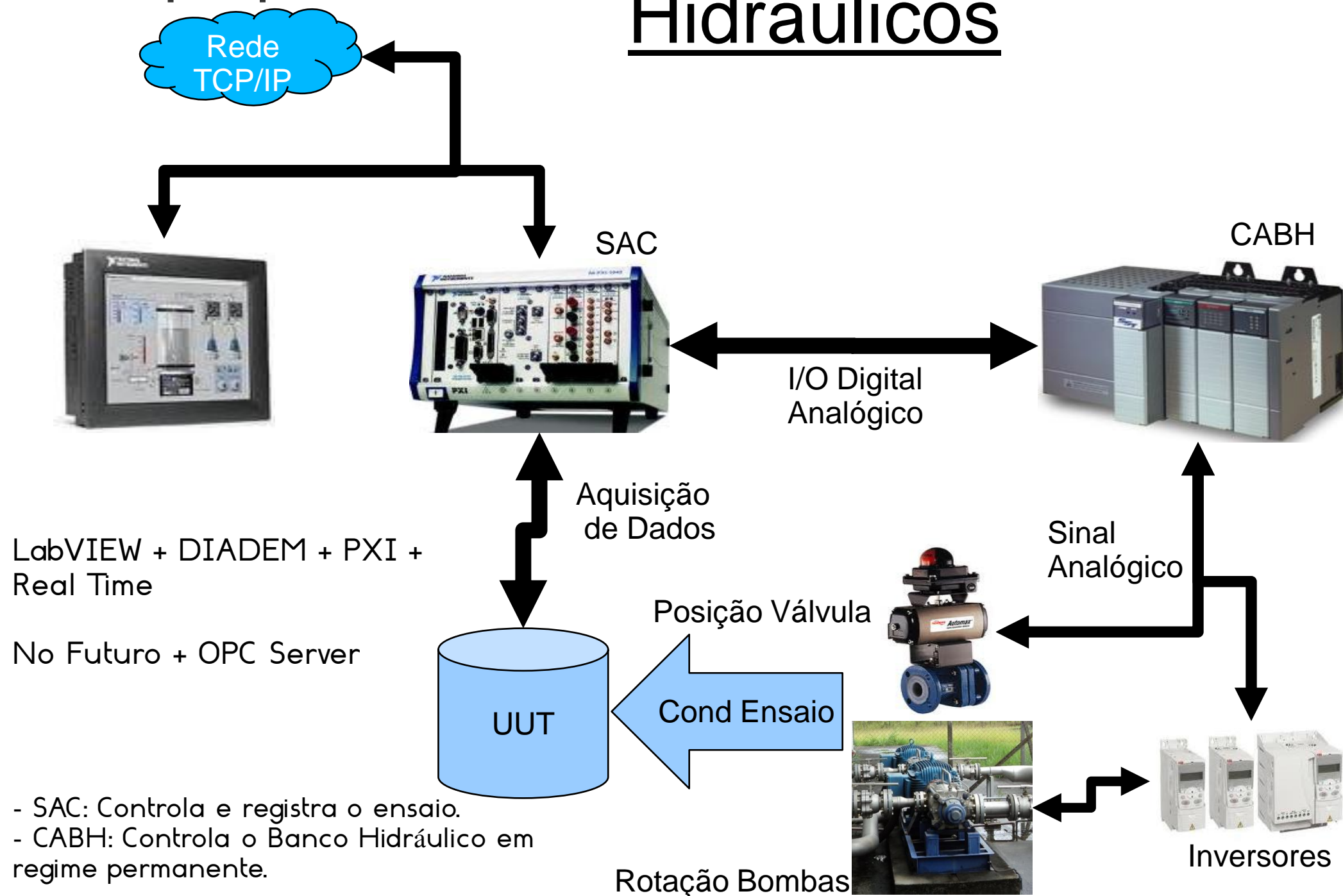


Interno



Externo

Banco de Ensaio Hidráulicos





Banco de 20kN

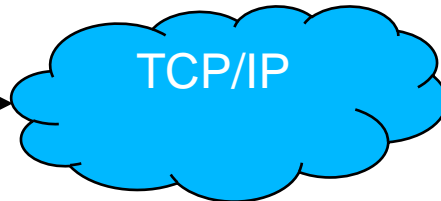


- Banco de ensaios a quente para MFPL até 20kN (2ton) de empuxo.
- Caracteriza o funcionamento e o desempenho das câmaras de empuxo de MFPL.



Banco de 20kN

Interface & Controle do Ensaio



Atuação de Válvulas ON-OFF - 127Vac
Reguladores → RS485
Sinais de Campo → 0-5Vdc e 4 a 20mA



Comando & Aquisição



Temperatura & Empuxo



LabVIEW + DIADEM + PXI + Real Time



Banco de 1kN



Comando
&
Aquisição

UUT



- ✓ Banco de Ensaios para um MFPL de 1kN (100kgf).
- ✓ Ferramenta de teste para fenômenos ligados a combustão.

LabVIEW + DIADEM + PXI + Real Time

- ✓ A interface de Usuário e sua Implementação sobre uma plataforma Windows foi objeto da tese de Mestrado – Emerson A. dos Santos - “Linguagem gráfica aplicada ao controle do banco de testes de um motor foguete a propelente líquido.”
- ✓ <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-12570>

- ✓ Banco de Estudos de fenômenos ligados a instabilidade de combustão.
- ✓ Usando Laser podemos verificar, parâmetros de spray, produtos de combustão, etc..



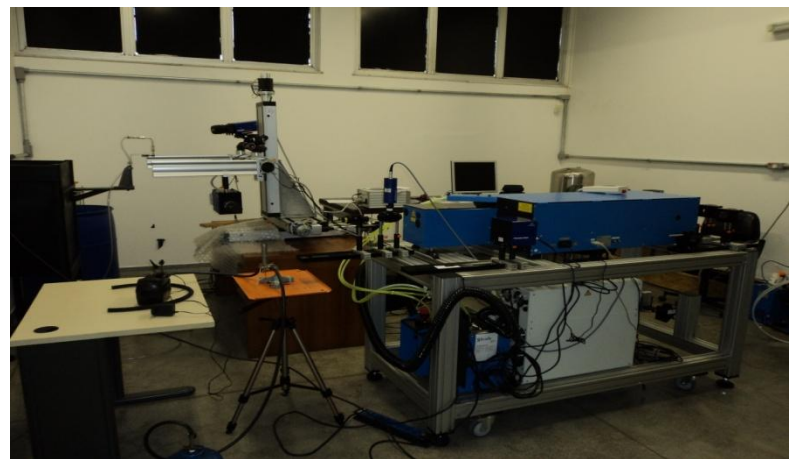
Comando
&
Aquisição

UUT



Laser
PIV & LIF

Em Estudo a Integração do Laser Lavision
LabVIEW + DIADDEM + PXI + Real Time



Desafios

- ✓ Aumentar a inteligência dos sistemas de controle e aquisição de dados.
- ✓ Aumentar a capacidade laboratorial em número de canais e funcionalidades dos softwares.
- ✓ Aumentar a integração entre os diversos sistemas e equipamentos.
- ✓ Implementar HIL.
- ✓ Desenvolver um Algoritmo Especialista que possa prever uma possível falha crítica durante a execução do ensaio.

Conclusão

- Na área espacial os testes são os elementos essenciais para o desenvolvimento de motores confiáveis e os bancos de testes são as ferramentas para este fim.
- Sendo assim a qualidade do meio de teste contribui para o aumento da confiabilidade final do motor e do veículo espacial.

Conclusão

Testar/Ensaiair é Conhecer.
Informação é a Chave para a
Confiabilidade.

Ideal = 100% \neq Real \approx 100%



Space Shuttle
Challenger

André Neves de Almeida Prado
andreanap@iae.cta.br
www.iae.cta.br

