

Desenvolvimento de Programa de Controle e Aquisição de Dados para Banco de Teste Hidráulico utilizando linguagem gráfica e plataforma PXI

David R. G. Ribeiro¹, Ângelo Dybal², Renato Nunes¹ e Miguel Andrade²

¹Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE); ²Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Resumo — O Banco de Teste Hidráulico (BTH) do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) tem como objetivo principal a capacitação técnica no desenvolvimento de tecnologias propulsivas alternativas à propulsão sólida. O BTH é equipado com um reservatório de água de 10.000 litros e com duas bombas centrífugas de 175 HP-cv e 250 HP-cv que atendem até 5 linhas de teste. O procedimento de ensaio é do tipo malha aberta ou fechada a depender das características do Corpo de Prova (CDP). O IAE conta com esta infraestrutura de ensaios localizada no Laboratório de Ensaios em Propulsão (LEPR), instrumentada com transdutores de pressão, medidores de vazão e sensores de temperatura para medir os fenômenos de vazão (velocidade e volume do fluido), diferença de pressões (ΔP) e as variações de temperatura dos processos. Neste contexto, o sistema de controle e aquisição de dados foi desenvolvido utilizando a linguagem gráfica LabVIEW e plataforma PXI em substituição a sua versão anterior. A instrumentação de ensaio baseia-se no sistema de aquisição de dados de tempo real da National Instruments (NI) composto pelo chassi PXI-1031, equipado com a controladora PXI-8184 e dois cartões PXI-6289. Além do PXI, foi introduzido na arquitetura um cRIO 9030 com cartões 9213 de 16 canais cada para aquisição de temperatura. Para operacionalizar o sistema foi adotado como requisito de desenvolvimento a arquitetura distribuída SCADA e o padrão de projeto QMH nativo do LabVIEW. Essa abordagem sistêmica resultou na consecução dos objetivos fixados pelos requisitos técnicos e operacionais que visam efetividade e segurança nos procedimentos de ensaio.

I. INTRODUÇÃO

1.1 - Introdução ao Banco de Teste Hidráulico

O Banco de Teste Hidráulico, BTH (figura 1, 2 e 3), é um sistema capaz de prover fluxo de água em regime laminar (sem perturbação), transitório (perturbação moderada) e turbulento (perturbação severa) dentro da tubulação. O fluxo de água é controlado por uma arquitetura PXI-LabVIEW integrada a sensores de pressão, medidores de vazão e atuadores pneumáticos para simular e medir os fenômenos de diferencial de pressão (ΔP) da entrada e saída de fluido nos diversos segmentos de um motor foguete. Os ensaios ocorrem em modelos de engenharia de válvulas controladoras, válvulas de processos, cabeçotes de injeção de motor foguete de propulsão líquida e híbrida e de jaquetas de refrigeração de câmaras de combustão para fins de estudo tecnológico aplicado ao programa espacial^{1,2}.



Figura 1 – Linhas do sistema



Figura 2 – Bombas de água de 175 e 250 HP-cv



Figura 3 – CDP instalado

1.2 - Objetivos

O acesso a produtos e sistemas de tecnologias espaciais já desenvolvidos é restrito e a capacitação para o desenvolvimento de sistemas e produtos espaciais que se utilizam de fluido combustíveis, criogênicos e gasosos, passa pelo estudo inicial com água a vazões e pressões elevadas. Com o emprego do BTH é possível obter as primeiras validações de uso das partes de um sistema propulsivo de um motor foguete líquido ou híbrido antes do primeiro ensaio a quente reduzindo consideravelmente os custos de desenvolvimento.

1.3 - Características e Aplicações

O Banco de Teste Hidráulico da APRE-LEPR possui um reservatório de 10.000 litros de água deionizada, duas linhas principais de teste, A e B. Linha A equipada com uma bomba d'água de 175 HP-cv e dois ramais com tubos de 4 polegadas, Linha B equipada com uma bomba d'água de 250HP-cv e dois ramais com tubos de 4 polegadas, e a junção de A+B em espera. Os testes aplicam-se à caracterização de vazão em relação a pressão diferencial (ΔP) entre a entrada e a saída, para comparar o perfil de saída do fluido do cabeçote de injeção água versus criogênico e à detecção de calço hidráulico ou passagem de fluido em válvulas de processo. Ainda, com os dados de vazão e pressão é possível determinar as perdas de carga e coeficientes de vazão de diversos componentes que utilizem qualquer tipo de fluido em seu funcionamento. A figura 4 ilustra o ensaio de perda de carga no cabeçote do motor híbrido de pesquisa H1³.



Figura 4 – Ensaio do cabeçote do H1

II. REQUISITOS TÉCNICOS E OPERACIONAIS

Desde sua instalação, o BTH vinha operando com a versão 10 do LabVIEW já altamente obsoleta em relação ao suporte e às funcionalidades do programa de teste dificultando a sua manutenção e operação. Observada essa condição do sistema e revisados os parâmetros a serem medidos durante o ensaio (pressão, vazão e temperatura) e os dispositivos para o controle e operação do banco (válvulas ON/OFF, válvulas proporcionais e inversores das moto-bombas do sistema), novos requisitos de natureza técnica e operacional foram estabelecidos para garantir o cumprimento do objetivo do ensaio hidráulico. Os requisitos (tabela 1) visam padrões de projeto, rotinas bem definidas de acionamento do sistema e procedimentos de segurança mitigatórios de falha no CDP e no sistema de controle do banco. A figura 5 apresenta a interface de controle projetada para o sistema.

Requisitos Operacionais	
Acionamentos discretos para válvulas pneumáticas	Comanda as linhas que alimentam o CDP
Acionamento proporcional para válvulas de controle de vazão	Atua proporcionalmente na vazão e pressão de entrada do CDP
Aquisições de sinais mistos (sensores de pressão, vazão e temperatura)	Integra a gama de sensores do banco e do CDP
Controle em malha fechada da vazão	Ajusta e controla com rapidez vazões de interesse para o ensaio
Botão de emergência virtual para falha segura do sistema	Coloca o programa de controle em um estado seguro com as saídas desativadas
Requisitos Técnicos	
Desenvolvimento do sistema segundo a arquitetura SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)	Viabiliza a divisão de funções nas camadas de hardware e software
Arquitetura distribuída composta por PC Host e DAQ remoto	Implementa a arquitetura SCADA separando processos determinísticos e não determinísticos encarregados da aquisição e controle do sistema
Sistema Operacional de Tempo Real (RTOS) em rotinas de aquisição e controle	Permite que o dispositivo execute funções de controle em tempo real
Registrador de dados de no mínimo 1000 amostras por segundo no formato TDMS (Technical Data Management Streaming)	Registra os fenômenos observados pela instrumentação de teste a uma taxa de amostragem satisfatória para as frequências esperadas

Tabela 1 – Requisitos técnicos e operacionais

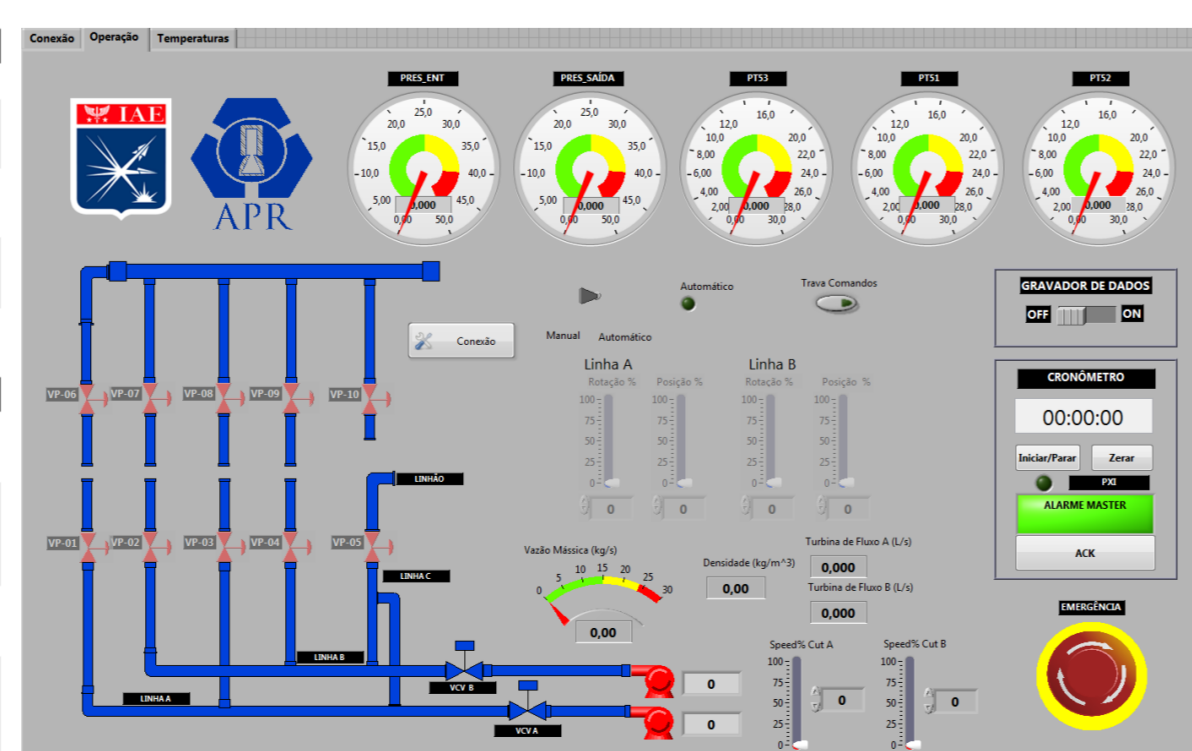


Figura 5 – Interface de controle

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a implementação do sistema de controle e aquisição de dados (SCADA) para o BTH, foram utilizadas como plataformas de desenvolvimento a linguagem de programação gráfica LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*)⁴ e a arquitetura de hardware baseada em PC PXI (*PCI Extensions for Instrumentation*). A linguagem de programação foi escolhida devido à elevada integração com o hardware e ao seu módulo RTOS (*Real Time Operating System*) para controladoras de tempo real PXI. O PXI é composto por um chassi modelo 1031 de 4 slots comandados por uma controladora PXI-8184 e dois cartões multifuncionais PXI-6289 para aquisição de sinais analógicos (0-10V) e saídas digitais TTL/CMOS para acionamentos discretos. Ainda, para atender requisitos adicionais de medição de temperatura, foi acrescentado à arquitetura distribuída de aquisição e controle (figura 6) um cRIO 9030 da NI com dois cartões de aquisição para termopares modelo 9213 de 16 canais de aquisição cada.

Os processos programados no PC host e no PXI estão baseados no padrão de projeto QMH (*Queued Message Handler*)⁵, uma versão robusta da arquitetura “produtor-consumidor” do LabVIEW. A principal vantagem da utilização da QMH para o projeto é a execução independente de loops de código a diferentes temporizações. Essa estratégia de programação permite que a aquisição e atualização dos indicadores seja realizada de forma ininterrupta sem afetar a habilidade do operador de controlar o programa e completar os procedimentos de teste. Além disso, a QMH é uma arquitetura de alta escalabilidade, facilitando a construção da arquitetura distribuída proposta para este projeto.

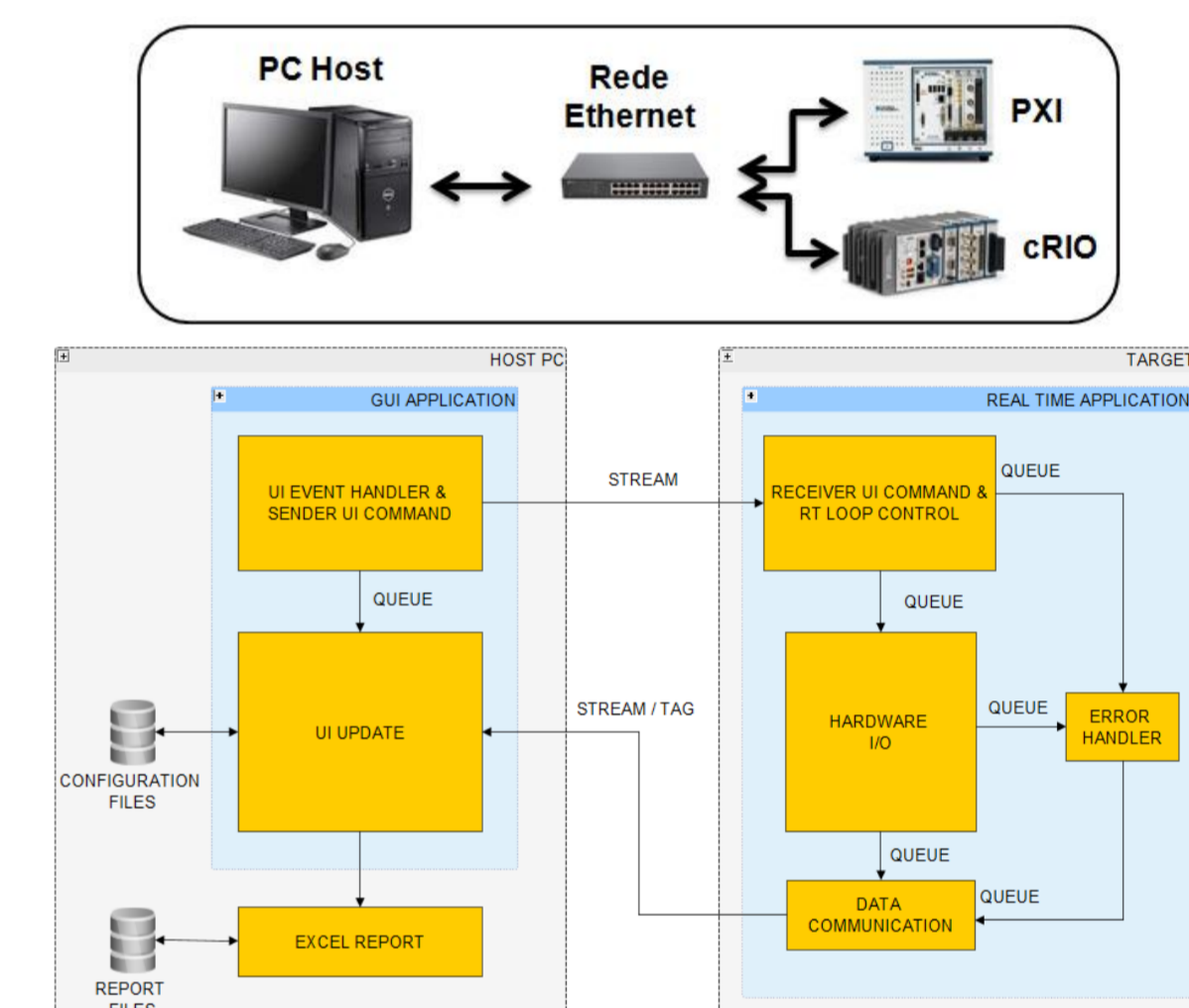


Figura 6 – Arquitetura distribuída de hardware e processos (loops) na QMH de aquisição e controle

IV. VALIDAÇÃO

O processo de validação consistiu na repetição do ensaio de um CDP com resultados já conhecidos (subescala MFPL L75) e na aferição dos instrumentos de teste utilizados no banco. Testes do programa também foram realizados para validar o funcionamento dos acionamentos (normais e de emergência) e a capacidade de registro de dados em arquivos TDMS para posterior análise e geração de relatórios. As figuras 7 e 8 representam os dados do ensaio de perda de carga do cabeçote já na forma de relatório e a figura 9 as medições de temperatura nos ensaios de segmento de câmara e garganta do motor.

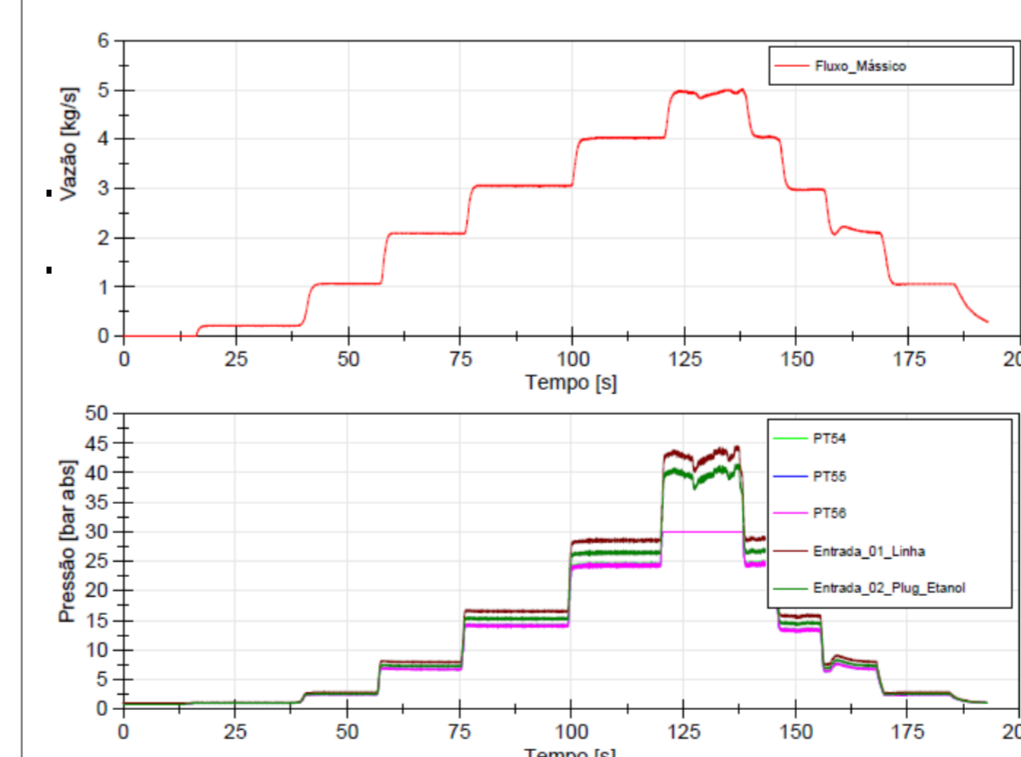


Figura 7 – Ensaio de perda de carga do cabeçote da subescala L75 (LOx) com a vazão e as pressões observadas

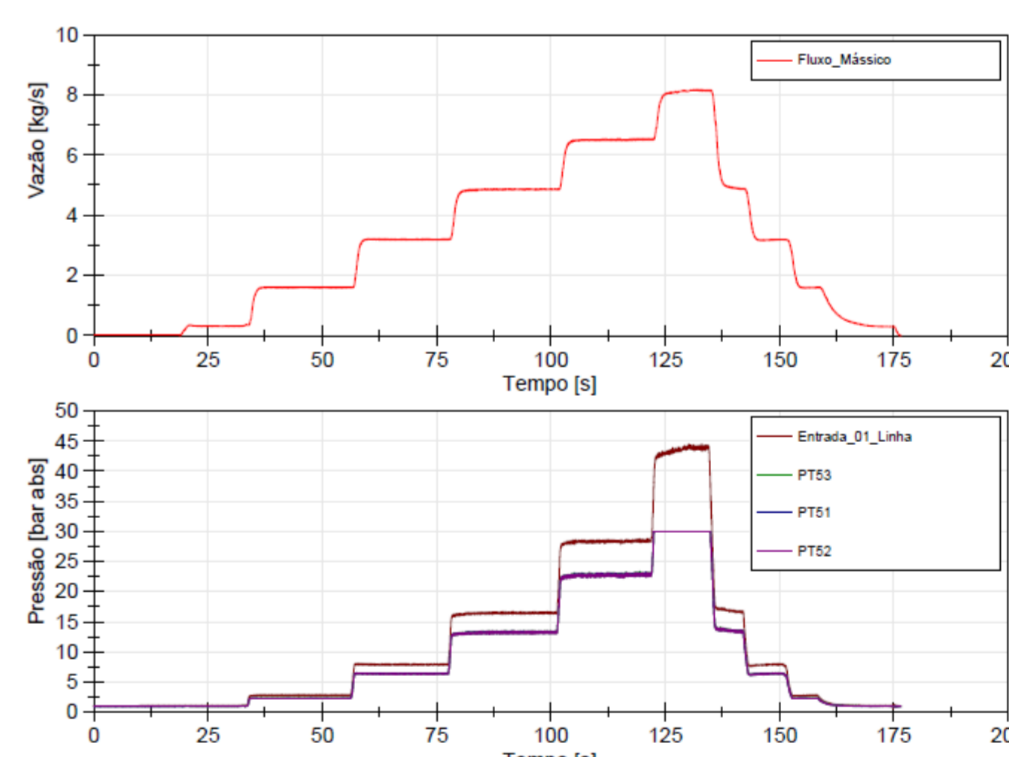


Figura 8 – Ensaio de perda de carga do cabeçote da subescala L75 (Etanol) com a vazão e as pressões observadas

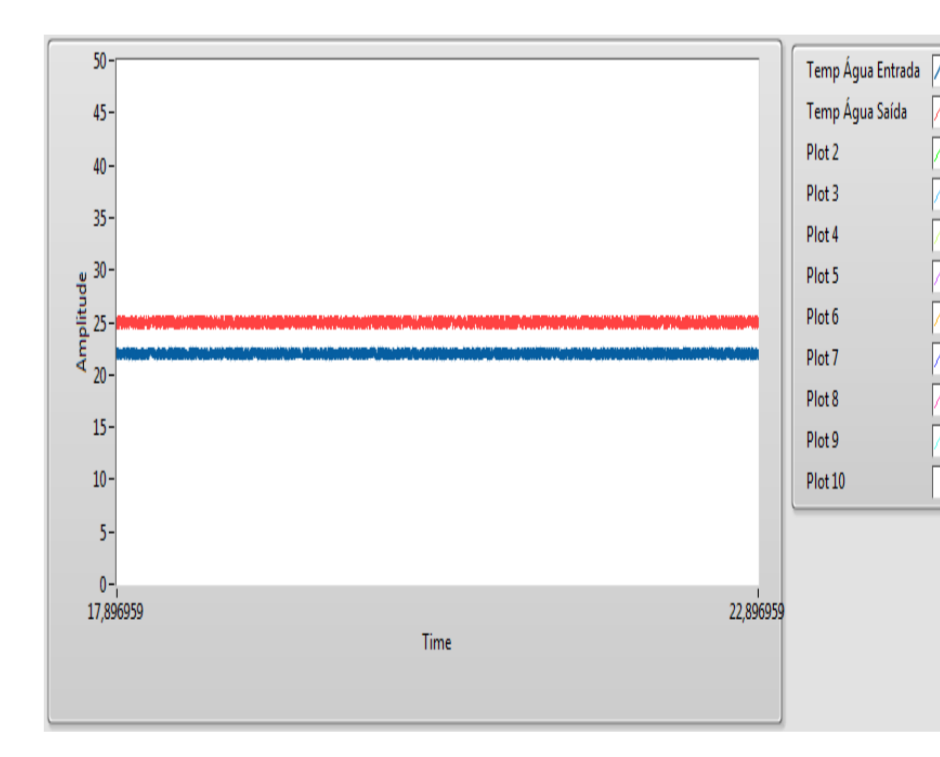


Figura 9 – Ensaio da temperatura de entrada e saída de água dos segmentos da subescala L75

V. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do programa de controle e aquisição de dados para ensaio no BTH foi realizado de forma satisfatória quanto ao resgate das capacidades inerentes aos componentes do banco por ocasião da nova versão do sistema supervisor. No decorrer do trabalho, é possível notar que tão importante quanto o equipamento de teste é a arquitetura desenhada para o sistema impactando no desempenho e principalmente na segurança da operação. Este desenho pôde ser construído devido às características gráficas da linguagem LabVIEW e a sua integração com dispositivos RTOS da plataforma PXI e cRIO. Por fim, essa capacidade de integração da ferramenta aliada ao padrão de projeto QMH, permitiu a implementação de processos críticos que demandam determinismo no sistema RTOS que facilmente puderam ser distribuídos na arquitetura SCADA proposta no desenvolvimento do programa.

REFERÊNCIAS

- Bouziene, Mohammed et al. Design and Experimental Evaluation of Liquid Oxidizer Injection System for Hybrid Rocket Motors. In 7th EUCASS European Conference for Aeronautics and Space Sciences. 2017. p. 133.
- Munson, Bruce R.; Young, Donald F.; Okiishi, Theodore H.. Fundamentos da Mecânica dos Fluidos. Tradução da 4 ed. Edgard Blücher, 2004.
- Nunes, R. F. L'Analyse expérimentale et numérique des instabilités de combustion d'un Moteur Fusée à Propergol Solide. 2001.
- Dissertação de Mestrado, ONERA – Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales.
- TRAVIS, J.; KRING J.. LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun. 3 ed. Prentice Hall, 2006.
- RIBEIRO, David R. et al. Data acquisition system for turbojet engine using LabVIEW programming and PCI extensions for instrumentation. In: 33rd AIAA Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference. 2017. p. 3323.