

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO PARA UM TÚNEL DE VENTO

LUIZ FELIPE A. T. SILVA,* DANILO AZEVEDO,* TAIRINE FRAZIO,*
GUILHERME DE SOUZA PAPINI,* PAULO ISCOLD*

**Centro de Estudos Aeronáuticos, Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil*

Email: luiz.machine@gmail.com, danilo.azevedo@ufpi.edu.br,
tbeligoli@hotmail.com, papini@demec.ufmg.br, iscold309@gmail.com.

Abstract— A complete system of data acquisition and control developed to a closed-loop wind tunnel with dimensions 1,20 x 1,00m in test section and 400 km/h maximum speed. The system measure pressures using Pitot's sensor and control the velocity using frequency inverter connected to the motor. A HMI (human-machine interface) was designed based on web applications allowing users to access the control system wherever they are inside the lab. The hardware mounted is an industrial PLC, communicating via As-I net with analogical and digital inputs and outputs modules, pressures sensors, temperature sensors and speed of gas sensor for low speed uses. The software platform used was Codesys. The expected improvements were reliability on usage of tunnel and stability during tests.

Keywords— Instruments, closed loop wind tunnel, automation.

Resumo— Um dispositivo de controle e aquisição de dados foi construído para um túnel de vento de circuito fechado, com seção de testes de 1,20m x 1,00m, com velocidade nominal de 400km/h. O dispositivo verifica e controla a velocidade e monitora as pressões estática e total. Uma interface móvel de controle e visualização do túnel foi elaborado, em que é possível configurar as condições ambientais do ensaio (pressão atmosférica e massa específica) e controlar o equipamento. Foram utilizados um PLC de uso industrial com módulo de entradas e saídas comunicando via rede, sensores de pressão, temperatura, pressão, velocidade de fluidos gasosos por princípio de temperatura e para a elaboração da interface foi utilizado o software livre Codesys. As condições do ensaio e a confiabilidade dos dados colhidos, além da simplificação do algoritmo de testes foram os ganhos com esta nova instalação.

Palavras-chave— Instrumentação, túnel de vento de circuito fechado, automação.

1 Introdução

Túneis de ventos são equipamento que simulam de forma controlada as condições de escoamento de ar semelhante à uma situação que se deseja estudar. Segundo Bradshaw and Pankhurst (1964), túneis de vento tornaram-se uma alternativa para a redução de custos dos testes de novos modelos de corpos aerodinâmicos, principalmente na indústria aeronáutica, devido à redução de custos e riscos no teste de novos conceitos. Consistem em um duto em circuito aberto ou fechado, munido de rotor, controles de escoamento e sistemas de aquisição e controle que permitem observar e manipular as condições de testes e o corpo testado. Os parâmetros lidos pelo sistema de aquisição devem ter precisão coerente com o nível de certeza que se deseja.

O Laboratório de Aerodinâmica Experimental da Universidade Federal de Minas Gerais (LAEXP) dispõe de um túnel de vento com seção de testes de 1,20m x 1,00m e velocidade máxima nominal de 400km/h. Trata-se de um equipamento versátil, capaz de ensaios de modelos aeronáuticos, automotivos, arquitetônicos, dentre outros, porém, no início de sua operação, as medições eram realizadas utilizando-se transdutores de pressão Scanivalves, juntamente com hardwares e o software Labview da National Instruments.

Com a doação da IFM Electronic, o LAEXP recebeu diversos hardwares, incluindo transdutores (pressão, temperatura, posição, velocidade do ar quando em regime de abaixo de 10 m/s, posição de janelas de visita) e um sistema de controle capaz de receber as variáveis, fazer os cálculos necessários e controlar parâmetros quando necessário. Além disso esse sistema permitiu o desenvolvimento de uma interface web com possibilidade de visualização dos dados e controle das variáveis de qualquer ponto do laboratório através da utilização de tablets e smartphones.

O objetivo deste trabalho é mostrar o desenvolvimento do sistema e controle de velocidade e do escoamento na seção de testes utilizando os transdutores supracitados. Para isso foi utilizado um PLC (*Programmable Logic Controller*) modelo IFM AC1421, módulo de entradas analógicas de 0 a 10 V, módulo de entradas digitais, módulo de saída analógica, módulo de saída digitais. Os módulos se comunicam com o PLC através do padrão de redes de automação tipo As-i.

2 Fundamentos Práticos do Sistema de Controle

2.1 Características do sistema desejado

Para a obtenção da velocidade foram utilizados dois sistemas de medição com funcionamento concomitante. Para velocidades entre 0 e 10 m/s é utilizado um sensor de velocidade com princípio térmico com incerteza de medição de 0,1m/s fabricado pela IFM Electronic com código SL5201. Optou por esse sistema de medição devido às limitações dos sensores de pressão utilizados nas medições com o tubo de Pitot. As pressões medidas na tomada estática e total do Pitot em velocidades acima de 10 m/s são maiores, em módulo, que 100 Pa. Como a incerteza dos sensores de pressão é de 5 Pa, a utilização torna-se adequada.

2.2 Seleção e montagem do equipamento

A instalação do sistema se deu pela necessidade de eliminação do controle manual, feito através do uso de potenciômetro, da velocidade do ar no túnel principalmente em testes com modelos quantitativos onde as variáveis como sustentação, arrasto e momentos precisam ser medidas e relacionadas à velocidade no qual o modelo está submetido. A lista de equipamentos é apresentada na Tabela 1.

A montagem dos dispositivos foi feita em painel metálico para montagem elétrica, com dimensões 600 x 400 x 200 mm, com proteção IP56 (proteção contra poeira e jatos de água). O resultado do conjunto esta apresentado na Figura 1.

Figura 1: Montagem do sistema na caixa plástica



2.3 Software

O sistema de controle permite a definição de controle através da utilização da velocidade verdadeira ou da velocidade real. Permite ainda a vi-

Tabela 1: Equipamentos selecionados

Produto	Descrição	Qtd
AC1216	Fonte para Mestre As-i	1
DN2012	Fonte de Alimentação 24vcc	1
AC2217	Módulo de entrada analógicas AS-i 4x0...10V	1
AC2220	Módulo de entrada analógicas AS-i 4xPT100	1
AC2216	Módulo de entrada analógicas AS-i 4x0...20mA	1
AC2219	Módulo de saídas analógicas AS-i 4x0...10V	1
AC2251	Módulo de saídas digitais 4xDO / entrada digitais 4xDO	1
AC1421	Controlador As-i	1
SL5101	Sensor de velocidade para fluidos gasosos	2
E40048	Suporte para sensor de velocidade para fluidos gasosos	2
TP3237	Conversor para sensores de temperatura	4
TS2229	Sensore de temperatura	4
IFT240	Sensor indutivo	1
IFC264	Sensore indutivo	1
IFR200	Sensor indutivo	1
IFT205	Sensor indutivo	1
PN2028	Sensor de pressão	4
RVP510	Encoder programável	2
E11508	Conector cabeável	12
E12166	Cabo de cinco vias	2
CR1081	IHM com comunicação ethernet	1

sualização das variáveis medidas e ainda a visualização de alarmes, caso ocorram. O software utilizado para a construção do sistema supervisório foi o Codeys V3.5 SP4. As linguagens de programação utilizadas foram o texto estruturado, diagrama de blocos e linguagem Ladder. Este software está em acordo a norma IEC61131-3 permitindo multiplas linguagens incluindo rotinas em C e ainda a configuração de diversos sistemas de controle. Para a programação em conformidade com o controlador AC1421 foi utilizada biblioteca especifica fornecida pelo fabricante. Os algoritmos envolvendo expressões numéricas e lógicas foram desenvolvidos em texto estruturado e para a rotina de operação do programa foi utilizada linguagem de bloco e diagrama Ladder. Nas Figuras 2.3 e 2.3 estão apresentadas as telas de controle do software.

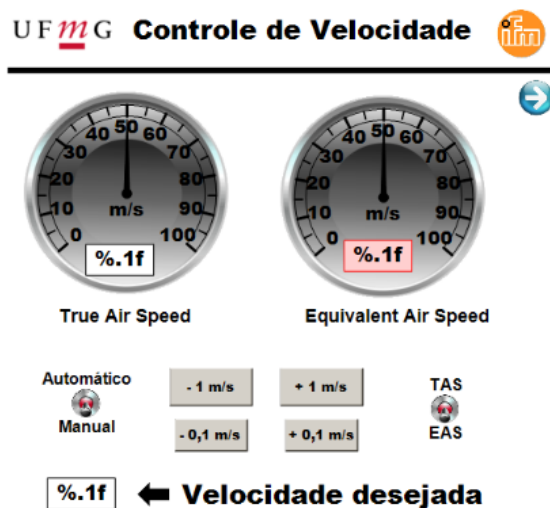


Figura 2: Controle de velocidades

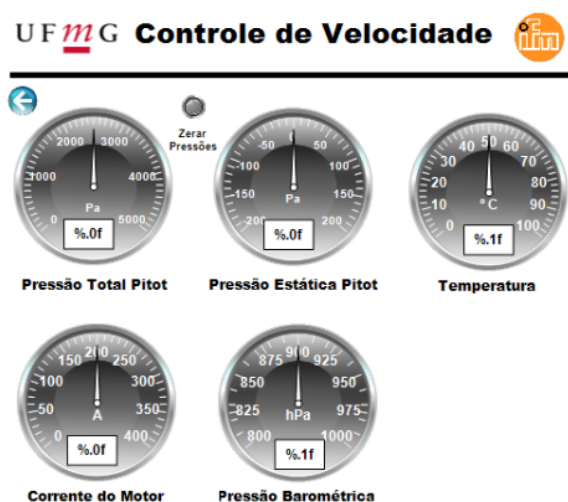


Figura 3: Condições dos sensores

2.4 Algoritmo de Controle

O algoritmo implementado leva em consideração as entradas e saídas como descrito na Figura 2.4.

3 METODOLOGIA

A montagem do sistema de automação foi realizada em 4 etapas: 1) Apreciação e avaliação das condições iniciais do túnel; 2) seleção dos equipamentos a serem instalados; 3) desenvolvimento da plataforma computacional de controle e aquisição de dados; e, 4) montagem e comissionamento.

3.1 Condições iniciais do túnel de vento

O túnel de vento do Laboratório de Aerodinâmica Experimental - LAEXP consiste em um equipamento de circuito fechado, construído em chapas

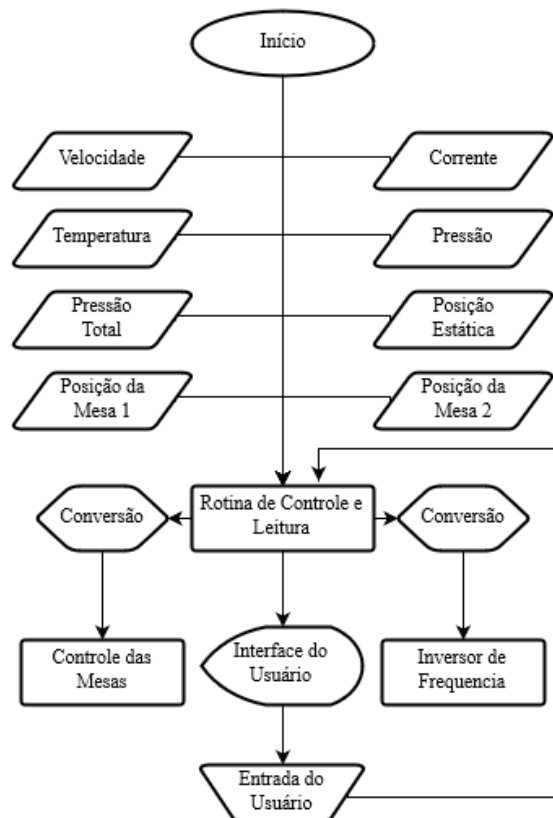


Figura 4: Algoritmo de controle

de aço, com características resumidas na Tabela 2. O equipamento encontra-se num galpão, munido de estação meteorológica utilizada também para caracterização da atmosfera de ensaio. Na Figura 5 está apresentado o leiaute do equipamento.

Tabela 2: Características do Túnel	
Seção de Testes	1,00m x 1,20m
Potência Instalada	400 cv
Velocidade Nominal	400 km/h

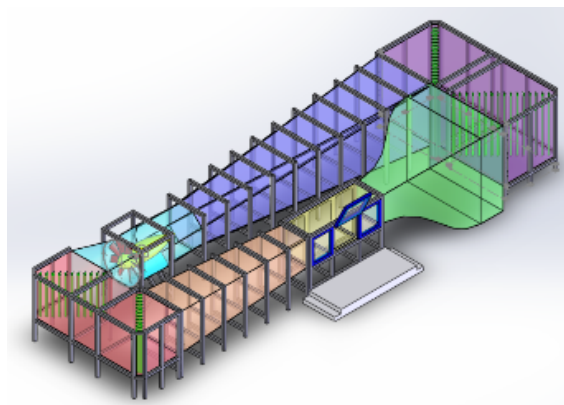


Figura 5: Leiaute do Túnel

3.1.1 Controles disponíveis inicialmente

Em avaliação preliminar, algumas características foram observadas, sendo tratadas como as demandas do túnel para a elaboração do sistema final, como descrito a seguir.

Controle de velocidade O controle de velocidade também era feito com o uso de potenciômetro, sendo difícil a estabilização da velocidade durante os testes. A característica não linear do potenciômetro dificultava o ajuste fino, principalmente em velocidades elevadas, tornando a repetibilidade do ensaio uma tarefa cansativa.

Temperatura do ar A temperatura do ensaio era admitida como a ambiente, medida na estação meteorológica do laboratório. No entanto, motor de alta potência, a velocidade e a ausência de um radiador no circuito do túnel faz com que a temperatura do fluido durante o ensaio aumente rapidamente. O túnel não dispunha de sensores de temperatura, impossibilitando a correção de massa específica e viscosidade. A pressão atmosférica era medida na estação meteorológica do laboratório, sendo considerado constante durante todo o testes. Em medições posteriores foi observado a elevação de temperatura igual a $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Testes realizados

Com o intuito de verificar o projeto do tubo de pitot utilizado para o controle de velocidade do túnel de vento, foi feita a calibração do mesmo utilizando um outro instrumento cuja curva de calibração era previamente conhecida. Esta curva de calibração é apresentada na Figura 6 a seguir.

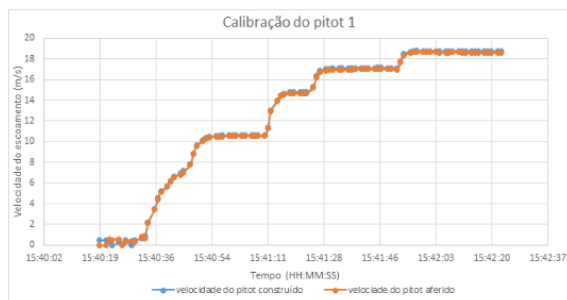


Figura 6: Curva de calibração do tubo de Pitot

Os resultados dos testes do túnel utilizando o novo conjunto de controle e automação, de caráter qualitativo e quantitativo são apresentados nos Itens 4.2 e 4.3. Tendo em vista que as intervenções implicam em ganho de tempo e conforto do operador e mitigação de erros sistemáticos e aleatórios, os resultados foram divididos respectivamente em

”melhorias para o operador”, apresentado no Item 4.2 e ”melhorias para o túnel”, Item 4.3.

4.2 Melhorias para o operador

4.2.1 Redução dos níveis de incerteza

Os procedimentos realizados previamente em conjunto com os sensores e eletrônica instalada possibilitaram a mitigação de possíveis erros aleatórios na leitura e registro dos dados obtidos reduzindo os níveis de incerteza.

4.3 Melhorias para o túnel

Melhorias na qualidade do túnel e consequentemente dos ensaios também foram notadas, sendo apresentadas nos Itens 4.3.1 a 4.3.2.

4.3.1 Controles de velocidade

O controle direto da velocidade ao invés da rotação do motor, como era feito inicialmente, possibilita testar o modelo nas condições desejadas e com boa repetibilidade. O controle eletrônico sujeita o motor às condições necessárias para obter a velocidade desejada, independentemente do fator de bloqueio do modelo.

4.3.2 Temperatura e controle de atmosfera

O fato do ar aquecer cerca de $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ durante os ensaios decorre do atrito inerente ao escoamento e do efeito resistivo do motor, este último com maior contribuição. Essa característica não foi alterada, porém a leitura da temperatura em conjunto com a pressão tornou possível a correção da massa específica e viscosidade.

4.4 Limites do sistema

Em contraponto às vantagens encontradas no novo sistema, alguns limites foram percebidos devido à potência instalada e infraestrutura.

1. A potência do motor e a inércia envolvida na construção do rotor, em conjunto com os tubos de Pitot utilizados, faz com que o controle de velocidade tenha erros de aproximadamente 1,0%, dificultando ajustes de velocidade decimal;
2. A variação da temperatura ($2^{\circ}\text{C}/\text{Min}$) pelo efeito resistivo do motor e atrito do fluido em movimento é significativa; e,
3. Nenhum trabalho acústico no túnel foi realizado, tendo sido verificado em Canaverde (2014) a presença de uma onda estacionária na seção linear próxima ao acionamento do rotor, com frequência igual à BPF (Blade Pass Frequency).

5 CONCLUSÃO

Um sistema de controle de um túnel de vento de circuito fechado foi montado e instalado, utilizando o sistema de controle da ifm electronic modelo AC1421, como módulos de entrada e saída comunicando através de rede As-i. Possui ainda sensores de pressão, temperatura, sensores indutivos, encoders e sensor de velocidades para fluidos gasosos em condição de baixa vazão.

Uma investigação das condições iniciais do túnel foi realizada e as características necessárias para a implantação apropriada do conjunto eletrônico foram definidas.

Um software de monitoramento e configuração dos experimentos foi desenvolvido de que seja possível o controlar remotamente, característica importante considerando as dimensões do túnel e a necessidade de avaliação das condições operacionais em toda a sua extensão durante o funcionamento.

Foram verificadas limitações do túnel e do sistema instalado. A potência e inércia instalada no sistema motor-hélice e os tubos de Pitot usados no sistema de controle dificultam o controle decimal de velocidade; há uma variação significativa de temperatura no fluido devido ao efeito de dissipação de calor do motor, que está imerso no fluido, e do atrito do fluido em movimento. Esse efeito foi mitigado pela variação da massa específica e da viscosidade pelo sistema, mas esta condição permanece; e, não houve intervenção acústica no túnel, ainda que se tenha conhecimento de efeitos de onda estacionária com frequência igual à BPF (Blade Pass Frequency) em algumas faixas de operação na trecho retilíneo próximo ao acionamento do rotor.

Agradecimentos

Os autores agradecem a ifm electronic do Brasil, representado pelo engenheiro Cavou Martinelli e seu diretor Osmir Ribeiro pela doação dos instrumentos utilizados nesses trabalho e pela disponibilidade durante a seleção dos sensores.

É importante ressaltar a participação da LLK Engenharia representada pelo Engenheiro Henrique Canaverde, durante o balanceamento do rotor.

Referências

- Bradshaw, P. and Pankhurst, R. (1964). The design of low-speed wind tunnels, *Progress in Aerospace Sciences* **5**: 1–69.
- Canaverde, H. S. (2014). *Análise de vibração e ruído no difusor de um túnel de vento em circuito fechado*, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.