

REPETIBILIDADE TESTE-A-TESTE DOS RESULTADOS DE UMA CONFIGURAÇÃO SUBSÔNICA DE UMA AERONAVE DE ALTO DESEMPENHO NO COMPLEXO DE TÚNEIS DE VENTO DO INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO

Matsuo Chisaki1
Gilberto Walter Arenas Miranda2
matsuo@iae.cta.br
gilware@unitau.br
Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE- ALA)
Universidade de Taubaté (UNITAU)

Resumo: Os resultados de testes do túnel de vento do complexo de túneis do Instituto de Aeronáutica e Espaço de um modelo de alta tecnologia, nas configurações de cruzeiro, decolagem e aterragem, foram analisados para avaliar a confiabilidade e repetibilidade dos diversos parâmetros aerodinâmicos. O ensaio é a base para medição do desempenho da modernização do LEA (Laboratório de Ensaio Aeronáuticos), conforme objetivo do projeto: PICTA/Túnel de Vento, Código: FAPESP 00/13769-0, sob o título: “Estudo de Viabilidade de Projeto Inovação Tecnológica de Desenvolvimento de Tecnologia de Ensaio Aerodinâmicos Bi e Tridimensionais para Projeto de Aeronaves de Alto Desempenho.” Foram utilizados dados do túnel original, durante a modernização e a após a implantação da modernização. Os procedimentos apropriados foram utilizados de modo a eliminar os erros sistemáticos. A confiabilidade e a repetibilidade foram obtidas com a avaliação dos erros de precisão comparadas de medidas feitas em configuração comum, com o que determina se a repetibilidade de curto prazo. Palavras Chave: incerteza, intra laboratorial, proficiência.

REPEATABILITY TEST-THE-TEST OF THE RESULTS OF A SUBSÔNICA CONFIGURATION OF AN AIRCRAFT OF HIGH PERFORMANCE IN THE COMPLEX OF WIND TUNNELS OF THE INSTITUTE OF AERONAUTICS AND SPACE

Abstract: The results of tests of the wind tunnel of the complex of tunnels of the Institute of Aeronautics and Space of a model of high technology, in the configurations of cruise, take-off and landing, had been analyzed to evaluate the trustworthiness and repeatability of the diverse aerodynamic parameters. The assay is the base for measurement of the performance of the modernization of LEA (Laboratory of Aeronautical Assays)) as objective of the project: PICTA/Túnel de Vento, Code: FAPESP 00/13769-0, under the heading: “Feasibility study of Project Technological Innovation of Development of Technology of Aerodynamic Assays Bi and Tridimensionais for Project of Aircraft of High Performance.” They had been used given of the original tunnel, during the modernization and after the implantation of the modernization. The appropriate procedures had been used in order to eliminate the bias quality controls. The trustworthiness and the repeatability had been gotten with the evaluation of the comparative errors of precision of measures made in common configuration, with what it determines if the repeatability of short term. Keywords. uncertainty, intra laboratorial, interlaboratorial, proficiency

1. Introdução

Ensaio em túneis de vento devem representar o campo aerodinâmico que ocorre em corpos sujeitos a ação do vento. Para isso, existem condições de semelhança a serem satisfeitas. Estas são: a semelhança geométrica, pela qual os modelos têm de ser geometricamente iguais ao corpo real e a semelhança dinâmica que demanda igualdade entre os números de Reynolds (Re) a que o corpo e o modelo estarão sujeitos. (Pope et al., 1999) Uma vez satisfeitas as condições acima entra as condições da medida propriamente dita. A qualidade ou o erro dos dados das medidas do teste do túnel de vento devem ser conhecidos a fim determinar o valor da variação que é significativa antes de usar resultados de teste do túnel de vento. O erro nas medidas do teste tem dois componentes: erro sistemático e erro de precisão (ou a repetibilidade) (Cockrell et al., 1998 e Cockrell et al., 1995). O erro sistemático é o fixo, ou o componente constante e o erro de precisão é o componente aleatório (BIPM et al., 1995). Os procedimentos experimentais apropriados podem eliminar erros sistemáticos grandes, mas os erros sistemáticos pequenos geralmente remanescem nas medidas. Sem saber o valor verdadeiro, é difícil determinar o erro sistemático. Um meio de avaliar o erro de precisão é comparar medidas repetidas em uma configuração comum dentro de um único teste do túnel de vento (repetibilidade de curto prazo) ou diversos testes do túnel de vento (repetibilidade em longo prazo). Este trabalho investigará a repetibilidade de curto e a de longo prazo dos resultados de uma configuração básica para condição de vôo de cruzeiro e aterragem, as campanhas de ensaios iniciais datam de 1982 (Pullin, 1982). Estes ensaios têm quantidade de dados limitados dentro de uma única configuração de teste típica, que inviabiliza uma análise estatística detalhada do erro da precisão. Nas campanhas de ensaios mais atuais já foram previstos ensaios de repetibilidade. As comparações destes parâmetros aerodinâmicos obtidos em diferentes testes são apresentadas em números de Mach de 0.21 e um número de Reynolds $1,77 \times 10^6$ e baseado na corda aerodinâmica média.

2. Metodologia de Ensaio

2.1. Facilidade de teste

O túnel de vento no 2 (TA-2), do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), maior da América Latina em operação, realiza ensaios aerodinâmicos para diversos segmentos da indústria. Ele é um túnel subsônico – com velocidade máxima de 127 m/s (457 km/h) – e com circuito e seção de ensaios fechada. A seção de ensaios possui largura de 3,0 m, altura de 2,10 m e comprimento de 3,0 m (Chisaki et al., 2000 e Chisaki et al., 2001). O nível de turbulência da ordem de 2% (Avelar et al., 2003) na seção livre é dos mais reduzidos, e é obtido por uma tela e pela relação da contração de 15:1 entre a câmara de tranquilização e a seção do teste. A balança externa utilizada nas medições é a Taller & Cooper, situada sob a Seção de Ensaio (S.E), é do tipo piramidal com 6 componentes (3 forças e 3 momentos) possuindo em cada uma destas uma célula de carga – cuja capacidade varia conforme o ensaio. São empregados 10 condicionadores de sinal – 1 para cada célula de carga e os restantes para os sensores de temperatura, pressão dinâmica (tubo de Pitot), pressão absoluta e umidade relativa do escoamento. Estes condicionadores proporcionam um controle na alimentação elétrica (que em geral é de 10 Volts) dos sensores e reduzem os níveis de ruído destes e da linha de transmissão nos sinais eletrônicos (Truyts, 2002; Truyts, 2003). Um bastidor da National Instruments (NI) é responsável pela leitura dos sensores (leitura “simultânea” de todas as componentes) e atualmente setado para 500 vezes para cada uma delas. O sinal resultante é a média aritmética para cada componente. A conversão dos sinais eletrônicos, obtidos no ensaio, para forças e momentos e posterior adimensionalização é possível através de uma metodologia de calibração da balança desenvolvida e implementada no túnel a partir década de 70, segundo variações realizadas no exterior. No nosso caso, admitem-se carregamentos simultâneos em duas componentes e obtêm-se as saídas das células de carga. Isto cria uma matriz de calibração de dimensão 6×27 (Reis, 2000).

2.2. Estimativa de carga de ensaio, célula de carga e ganho

A Divisão de Aerodinâmica (ALA), através de procedimentos e auxílio de programas computacionais faz a previsão das cargas de ensaios. A Tabela (1) mostra os dados das células de cargas utilizados no ensaio. Após o cálculo das cargas de ensaio há a necessidade de transferir estes esforços calculados para as células de cargas. Estes esforços aplicados no ponto "O" da balança são transmitidos por meio de braços redutores com cardam de laminas cruzadas até as células de carga. A relação de transmissão pode ser vista na Tabela (2). Baseados nestas previsões são escolhidas as células de carga a serem empregadas. Uma previsão errônea poderá destruir a célula de carga, sendo necessária sua substituição e nova calibração da balança, consumindo vários dias de trabalho.

Tabela 1 - Definição de células de carga da balança e cadeia de medida

Componente	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Capacidade. (lb)	500	100	100	40	50	50
Tipo	U3G1	SM	SM	Z3H2R	SM	SM
Marca	BLH	Interface	Interface	HBM	Interface	Interface
N ^o de série	K510036	B38161	B54661	G91694R	B54697	B48323
K(coeficiente do sensor)	-7,57096	-1,50065	-0,73998	-1,00780	-0,74658	-0,72135
Data da calibração	2002	2002	2002	2002	2002	2002
P. dinâmica ensaio (mmH ₂ O)	300	300	300	300	300	300
Medidas de referências (m)		Sw= 0,5833		Bw=1,479		Cw=0,409
Ganho adotado	100	100	201	503	251	201

Fonte: ALA-2007

Tabela 2 – Relação de transmissão de esforços para efeito de calculo

Componente	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Fator de multiplicação	1,000	0,467	0,0039	0,1531	0,3281	0,3282

Fonte: ALA-2007

2.3. Calibrações das células de cargas

A partir da definição dada pelo item anterior, às células de cargas são calibradas ou foram calibradas pelo Laboratório de Baixa Força (LBF) da ALA. O LBF encontra-se em fase de acreditação junto a SEMETRA, órgão representante do INMETRO para assuntos relacionados a Aeronáutica, portanto, todas as documentações encontram-se disponíveis no Laboratório. O ponto principal quando se calibra a célula de carga para a balança do TA-2 é o sistema de fixação da célula de carga no que se convencionou chamar de estojo da célula de carga. Este estojo permite que a célula de carga calibrada seja montada na balança mantendo todas as características observadas durante a calibração. A Figura (1) mostra a célula montada no estojo e a Figura (2) mostra o estojo no sistema de calibração



Figura 1 – Estojo de calibração



Figura 2 – Estojo na Máquina de calibração

2.4. Calibração da balança

A partir da definição dada pelos itens anteriores foram montadas as células de cargas na balança, montado o sistema de calibração, conforme esquema apresentado na a Figura (3) e feito todo o procedimento para a calibração.

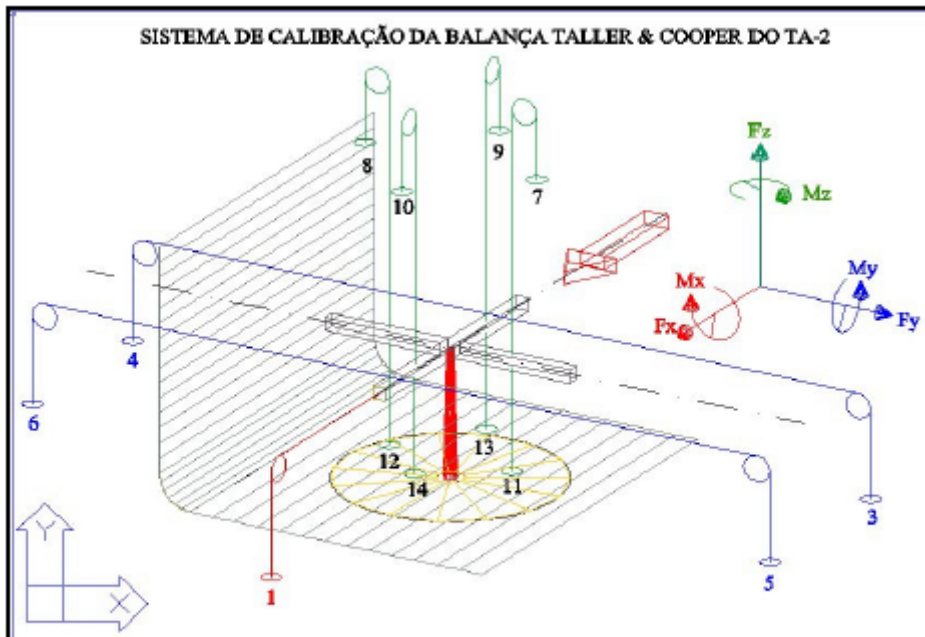


Figura 3 – Esquema do Sistema de Calibração da Balança

A balança de seis componentes do TA-2 foi calibrada para ensaios longitudinais e laterodirecionais, sendo a Matriz de calibração $[6 \times 27]$ usada para ensaios longitudinais (em alfa) e a Matriz de calibração $[6 \times 39]$ usada para ensaios latero-direcionais. O método de calibração utilizado é o que foi desenvolvido na tese de mestrado de Nogueira (1980). O modelo matemático é a utilizada pela NASA- Langley Research Center:

a) em Alfa (α)

$$R_k = \sum_{i=1}^6 \cdot A_k^i \cdot F_i + \sum_{i=1}^6 \cdot \sum_{j=i}^6 \cdot B_k^{ij} \cdot F_i \cdot F_j$$

b) em Beta (β)

$$R_k = \sum_{i=1}^6 \cdot A_k^i \cdot F_i + \sum_{i=1}^8 \cdot \sum_{j=i}^8 \cdot B_k^{ij} \cdot F_i \cdot F_j$$

onde $F_7 = \sin(\alpha)$ e $F_8 = \cos(\beta)$

Pela calibração da balança, com carregamento de F_i (carregamento das 6 componentes dois a dois, onde as outras 4 são mantidas nulas), são determinados os coeficientes A_k e $B_{ij k}$, conhecidos os R_k (saídas em mV). Os números de carregamentos são de 73 para matriz Alfa (sem variação do ângulo de guinada b) e 219 para matriz Beta (com variação de b). A combinação dos carregamentos nos 14 pratos é possível carregar todas as componentes, exceto o arrasto negativo, que é para o caso de ensaio com modelo motorizado, sendo, esta carga, substituída por uma carga de valor intermediário no arrasto positivo. Finalmente, as forças e momentos que se deseja obter, utilizam a aplicação da seguinte equação:

$$F_k = \sum_{i=1}^6 \cdot A_k^i \cdot R_i + \sum_{i=1}^6 \cdot \sum_{j=1}^6 \cdot B_k^{ij} \cdot R_i \cdot R_j (\alpha)$$

A balança TALLER&COOPER mede as 6 componentes (F_k) através das 6 saídas de sensores de Forças (R_k). A matriz de calibração rápida é a matriz do tipo [1 x 6] que leva em conta todos os parâmetros envolvidos na aquisição de dados: ganho, cablagem, balança, cadeia de medida, etc. As incertezas para a calibração da balança tinham valores típicos, ver exemplo dos valores na Tabela (3) e a Tabela (4).

Tabela 3 - Tabela de incerteza para calibração em alfa

Componentes	σ (kgf)	Incerteza Absoluta (kgf)	Carga máx.* (kgf)	Incerteza relativa (%)
D	0,0356	0,1068	100	0,11
Y	0,0398	0,1184	100	0,12
L	0,0613	0,1839	200	0,09
l	0,0381	0,1143	30	0,38
m	0,0498	0,1472	60	0,25
n	0,0406	0,1380	36	0,38

Fonte: ALA2007

Tabela 4 - Tabela de incerteza para calibração em beta

Componentes	σ (kgf)	Incerteza Absoluta (kgf)	Carga máx.* (kgf)	Incerteza relativa (%)
D	0,0471	0,1413	100	0,14
Y	0,0489	0,1467	100	0,15
L	0,0904	0,2712	200	0,14
l	0,0571	0,1713	30	0,57
m	0,0574	0,1722	60	0,28
n	0,0463	0,1389	36	0,38

Fonte: ALA2007

(*) É o valor do maior carregamento colocado nesta componente durante a calibração.

2.5. Calibração dos sensores de pressão

Todos os sensores utilizados na ALA são calibrados no Laboratório de Baixa Pressão (LBP) que se encontra na fase final de Credenciamento junto ao SISMETRA, Sistema de Metrologia Aeroespacial, credenciado da INMETRO. Portanto, existe rastreabilidade junto ao INMETRO. A calibração gera uma equação do tipo:

$$Q = 37,202859 * mV$$

Desvio Padrão: 0.2mm H2O

Onde: Q é a pressão dinâmica em mmH2O mV é a leitura da tensão gerada pelo sensor de pressão em mV. A instrumentação utilizada é apresentada na Tabela (5).

Tabela 5 - Tabela de instrumentação para calibrar sensor de pressão

	Pressão padrão	Sensor
Fabricante	HATHAWAY	STHATAM
Nº de série	-----	16899
Modelo	MASTERCAL 922	PM6TC
Capacidade	1 PSI	2,5 PSI
Precisão	0,06%	0,06%

Fonte: ALA 2007

2.6. Calibração do tubo de Pitot

O tubo de Pitot, do tipo Prandtl, é o instrumento de medição de pressão dinâmica com o qual é medida a velocidade do escoamento na Seção de Ensaio (S.E.) do TA-2. Cada tubo de Pitot instalado no TA-2 possui constante de calibração conforme apresentado na Tabela (6).

Tabela 6 - Tabela de constantes dos Pitot

Descrição	Marca	Nº de série	Constante de calibração	Data da calibração/certificado
Pitot padrão	Air Flow	---	0,997	2007
Pitot referência 1	Air Flow	---	0,997	2007
Pitot referência 2	Air Flow	---	0,997	2007

Fonte: ALA 2007

2.7. Calibração devido à posição do tubo de Pitot

A leitura da pressão dinâmica foi feita através de um tubo de Pitot fixado a montante da seção de ensaios gerando a necessidade de uma calibração para a correção devido à posição. A calibração foi feita em relação a um tubo de Pitot fixado no centro da seção de ensaio (tubo de Pitot padrão) versus tubo de Pitot de referência. Estão instalados dois tubos de Pitot de referência, a montante da seção de ensaio, a 3305 mm do centro da S.E., distantes entre si de 1 m. Sendo o tubo de Pitot da direita utilizado para referência na aquisição de dados e o da esquerda de referência para controle de velocidade de ensaio. O cálculo dado pela regressão mostra a equação do tipo:

a) Para aquisição de dados

$$Q (\text{centro da S.E.}) = 1,029 \times Q (\text{referência direita})$$

b) Para controle de velocidade do ensaio

$$Q (\text{centro da S.E.}) = 1,029 \times Q (\text{referência esquerda})$$

Onde: Q (centro da S.E.) é a pressão dinâmica no centro da seção de ensaio (Figura (5)). Q (referência direita) é a pressão dinâmica medida pelo Pitot da direita (Figura (4)). Os tubos de Pitot de referência estão montados à montante do centro da seção de ensaio.



Figura 4 – Tubos de Pitot de Referência do TA-2

Figura 5 – Tubo de Pitot padrão no centro da Seção

2.8. Calibração da correção das cargas devido à pressão estática (ZQ)

A influência da pressão estática é de relevância nos ensaios, uma vez que a sua variação é de magnitude suficientemente grande para alterar o sinal elétrico fornecido pelos sensores submetidos a esforços. Na verdade, sabe-se que:

$$P_t = P_e + q$$

Onde: P_t : pressão total

P_e : pressão estática

q : pressão dinâmica

Como a pressão total é constante para um dado volume de controle, ao submetermos os sensores de balança a uma dada variação de pressão dinâmica, também os submetemos a uma variação proporcional de pressão estática, ambas lineares e correlacionadas; desta maneira, determina-se a influência da variação da pressão estática através da variação da pressão dinâmica. Os sensores de carga sofrem influência da pressão dinâmica. Esta influência é devido à parcela da pressão estática (ZQ) e para corrigir esta influência foi realizado o ensaio sem modelo, onde foram adquiridas as componentes da balança em função da variação da pressão dinâmica. Através de um programa de regressão foi feita a equação desta variação para cada componente. A Tabela (7) apresenta a matriz ZQ utilizada, para equação de até o 3º grau.

Tabela 7 – Matriz ZQ

Constante componente	A0	A1	A2	A3
Arrasto	+41,397E-04	+30,739E-05	-14,266E-09	+00,0000E+00
Força lateral	+33,059E-04	+56,833E-07	+36,005E-09	-50,5126E-12
Sustentação	-63,238E-05	-48,945E-06	-10,463E-08	+10,818E-11
Arfagem	+44,615E-05	+11,948E-10	-11,612E-10	+00,0000E+00
Rolamento	+26,087E-05	+12,409E-06	-14,808E-10	+00,000E+00
Guinada	+26,792E-05	+51,545E-07	+36,695E-11	+00,000E+00

Fonte: ALA 2007

2.9. Calibração da correção das cargas devido ao passeio do C.G. (ZAB)

A ZAB é uma metodologia adotada pela ALA para corrigir um erro inerente à balança que ao se rotacionar o modelo tanto em alfa ou beta induz variação de zero devido ao deslocamento do centro de gravidade (C.G.).

2.10. Calibração dos “pesos” utilizados na calibração das células de cargas e na calibração da balança

Todos os “pesos” utilizados na ALA são calibrados no Laboratório de Baixa Força (LBF) que se encontra na fase de documentação dos procedimentos de Credenciamento junto a SISMETRA, Sistema de Metrologia Aeroespacial, credenciado do INMETRO. Todos os equipamentos foram calibrados pelo SISMETRA, portanto, existe rastreabilidade junto ao INMETRO.

2.11. Influência da fixação (Tara-Influência)

O escoamento induzido pelo(s) mastro(s) de fixação do modelo na balança durante os testes influencia o comportamento dos sensores da balança. A Tara é definida como sendo uma carga aerodinâmica adicional, a ser somada ou subtraída dos resultados do ensaio, medida pela balança, causada pela presença do(s) mastro(s). A Tara é obtida através da soma da carga aerodinâmica sobre o(s) mastro(s) propriamente dito(s) e pela interferência aerodinâmica mútua entre o modelo e o(s) mastro(s) de fixação, sendo medida através da saída em mV dos seis sensores da balança, os quais medem as seis componentes atuantes no modelo: arrasto, força lateral, sustentação, momentos de rolamento, arfagem e guinada, nesta seqüência. A Figura (6) ilustra a seqüência da retirada da tara.

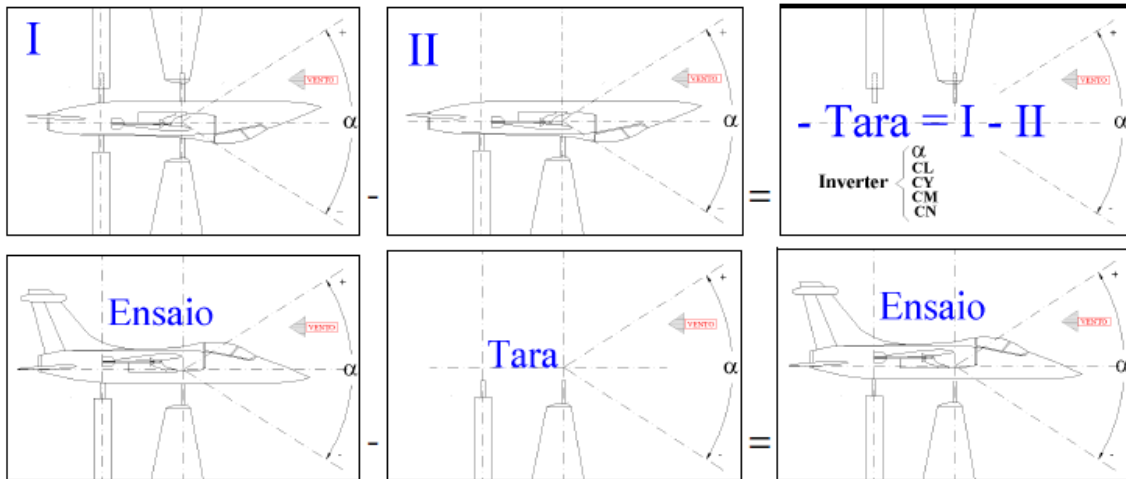


Figura 6 — Modelo com imagem e sem imagem

3. Aquisição e Redução de Dados

O sistema de aquisição de dados foi a do Hewlett Packard (HP) e a linguagem utilizada foi BASIC da HP, tanto nos programas de aquisição e redução de dados. Durante a aquisição de referência que denominamos estado original, o sistema de aquisição de dados HP deu sintomas que poderiam entrar em colapso. O sistema da HP foi implantado nos anos de 1982 e os ensaios de Referência iniciaram em 2003, ou seja, os equipamentos da HP sobreviveram por mais de 20 anos. Portanto, durante estes ensaios de Referência foi realizada uma transição intermediária para iniciar a inovação tecnológica. Foi então utilizado o sistema de aquisição de dados da NATIONAL INSTRUMENTS (NI), com as seguintes especificações: – Placa A/D AT-MIO – 16X da National Instruments (NI) – SCXI – 1001 Chassis da NI – SCXI - 1121 – Isolated Universal Transducer Module for Signal Conditioning da NI. – SCXI – 1321 – Terminal Blocks da NI – SCB – 68 – Shielded I/O Connector Blocks da NI. – Fonte de Alimentação 8332 de 10 V da MCE – Fonte de alimentação 8334 de 15 V da MCE Os programas de aquisição e redução de dados foram elaborados na linguagem “LabWindows/CVI” da própria NI, plataforma C++. Portanto, o ensaio de Referência de confiabilidade foi realizado pelo sistema da HP e o da NI, para ter-se maior confiança nos resultados, principalmente nesta transição HP=>NI para comparações dos resultados. Com todos os parâmetros adquiridos, temos: balança calibrada, sensores dos parâmetros do túnel calibrados, modelo montado, parâmetros de túnel adquiridos, correções de túnel, etc. e dados de ensaios adquiridos podendo-se elaborar a redução de dados. As seguintes operações/cálculo são realizadas, de acordo com o fluxograma da Figura (8):

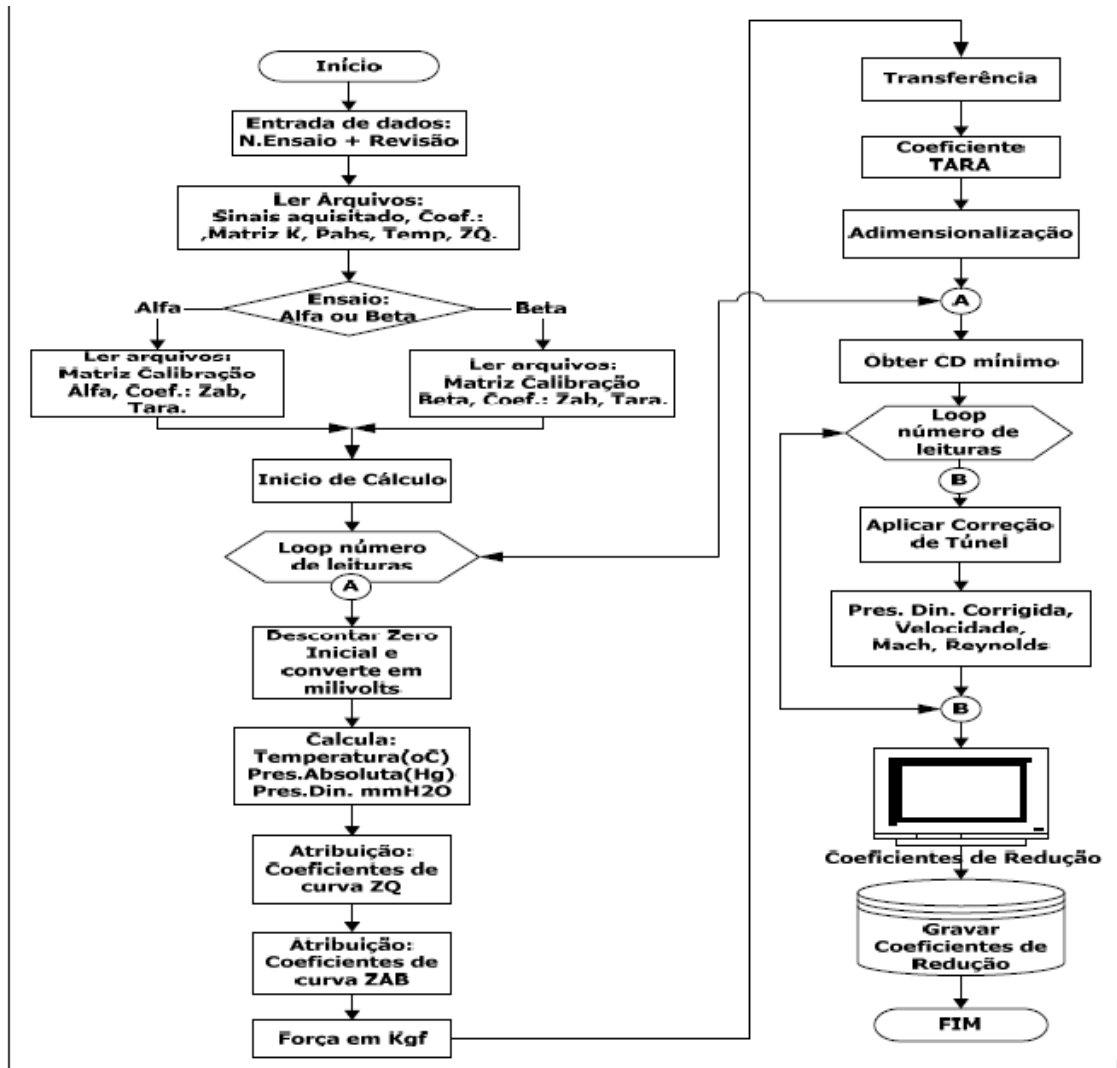


Figura 8 – Fluxograma do programa de redução de dados.

4. Resultados

O fator preponderante foi à escolha da configuração do modelo para simular ao máximo as respostas dinâmicas do modelo e da balança devido ao efeito do escoamento. As condições selecionadas foram:

- Repetibilidade de curto prazo com plataforma de aquisição de dados HP.
- Repetibilidade de curto prazo com plataforma de aquisição de dados NI.
- Repetibilidade de longo prazo, com plataforma de aquisição de dados HP e NI.
- Repetibilidade de curto prazo, com plataforma de aquisição de dados NI, modelo instável.

Resultados 1 - Repetibilidade de curto prazo, com plataforma de aquisição de dados HP. Modelo montado na posição normal, com plataforma de aquisição de dados HP. Esta é uma configuração de comportamento dinâmico estável, flape e eslate na condição de vôo cruzeiro, sem a empenagem vertical (EV). Pode se observar na Figura (9) que o desvio dos coeficientes (σ CD) ficou dentro dos requisitos de variação menor que 0,0005.

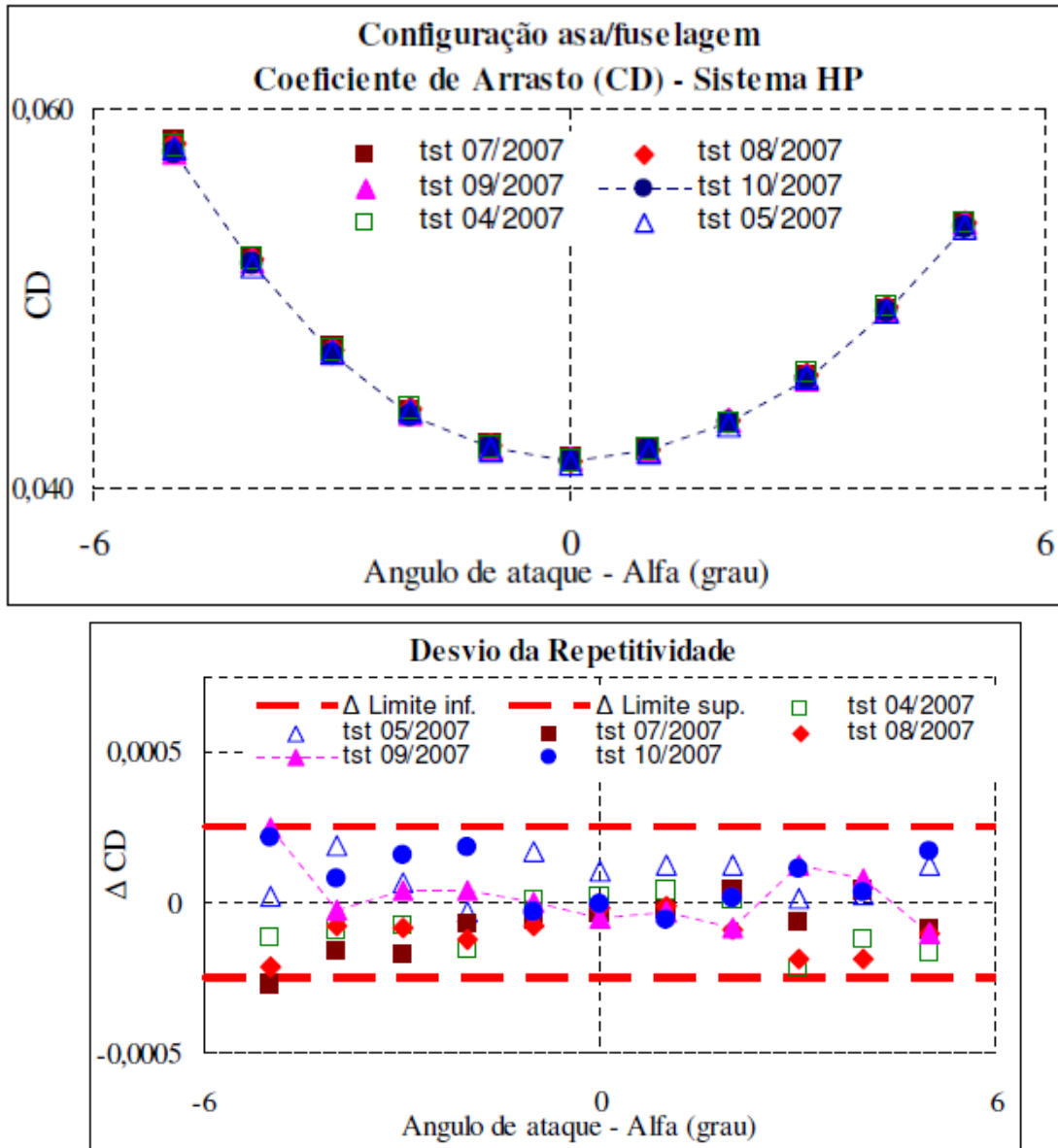


Fig. 9 – Repetibilidade de curto prazo para Sistema HP – medidas do CD e os desvios

Resultados 2 - Repetibilidade de curto prazo, com plataforma de aquisição de dados NI Modelo montado na posição invertida, com plataforma de aquisição de dados NI. Esta é uma configuração de comportamento dinâmico estável, flape e eslate na condição de vôo cruzeiro, sem a empenagem vertical (EV). Pode se observar na Figura (10) que o desvio dos coeficientes (ΔCD) ficou dentro dos requisitos de variação menor que 0,0005. No sistema NI a variação do desvio das medidas ficaram mais estreitas tendendo a uma variação em torno de 0,0002

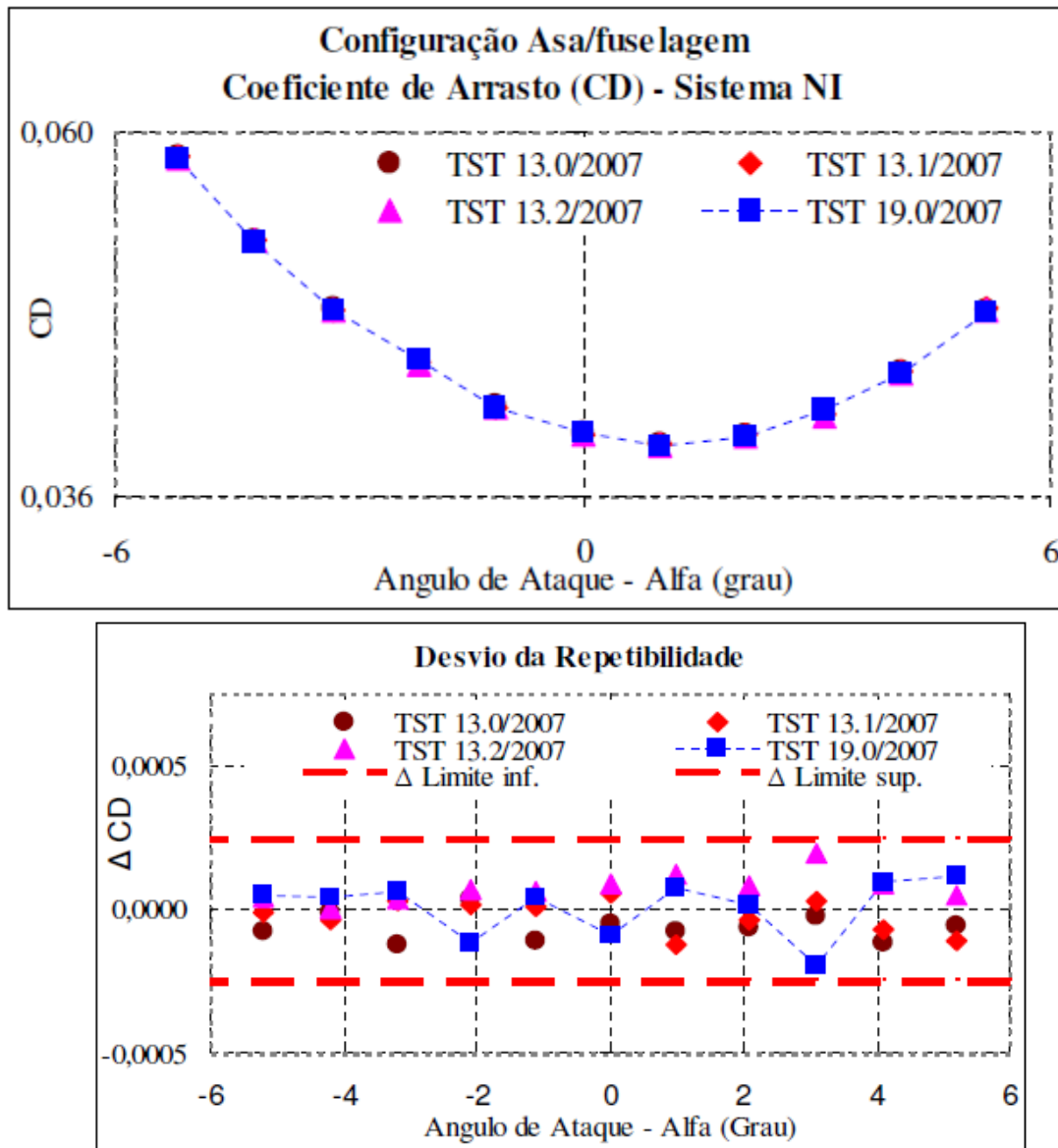


Fig. 10 – Repetibilidade de curto prazo para Sistema NI- medidas do CD e os desvios

Resultados 3 - Repetibilidade de longo prazo, com plataforma de aquisição de dados HP e NI Modelo montado na posição normal, com plataforma de aquisição de dados HP e NI. Esta é uma configuração de comportamento dinâmico estável, flape e eslate na condição de voo cruzeiro, sem a empenagem vertical (EV). Pode se observar na Figura (11) que o desvio dos coeficientes (ΔCD) ficou fora dos requisitos de variação menor que 0,0005.

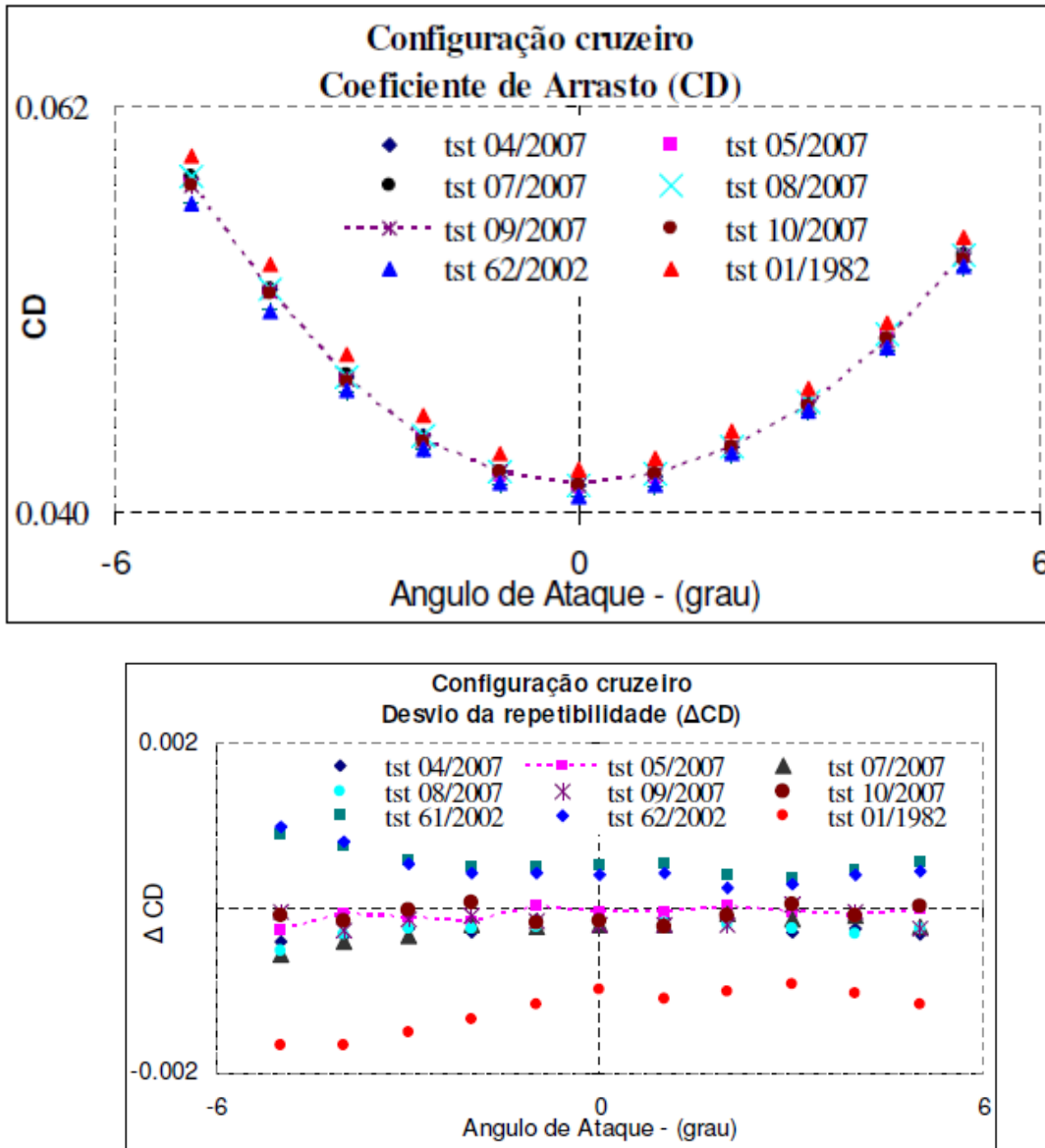


Fig. 11 – Repetibilidade de longo prazo para Sistema HP e NI– medidas do CD e os desvios

Resultados 4 - Repetibilidade de curto prazo, com plataforma de aquisição de dados NI Modelo montado na posição normal, com plataforma de aquisição de dados NI Para esta configuração, de comportamento dinâmico instável, flape e eslate na condição de vôo aterragem, flape e eslate defletidos. Esta série de ensaio os dados foram aquisitados utilizando se a plataforma da National Instruments. A Figura (12) mostra o CD dos ensaios atuais utilizando a plataforma NI com a variação do CD com valores maiores do que a especificação.

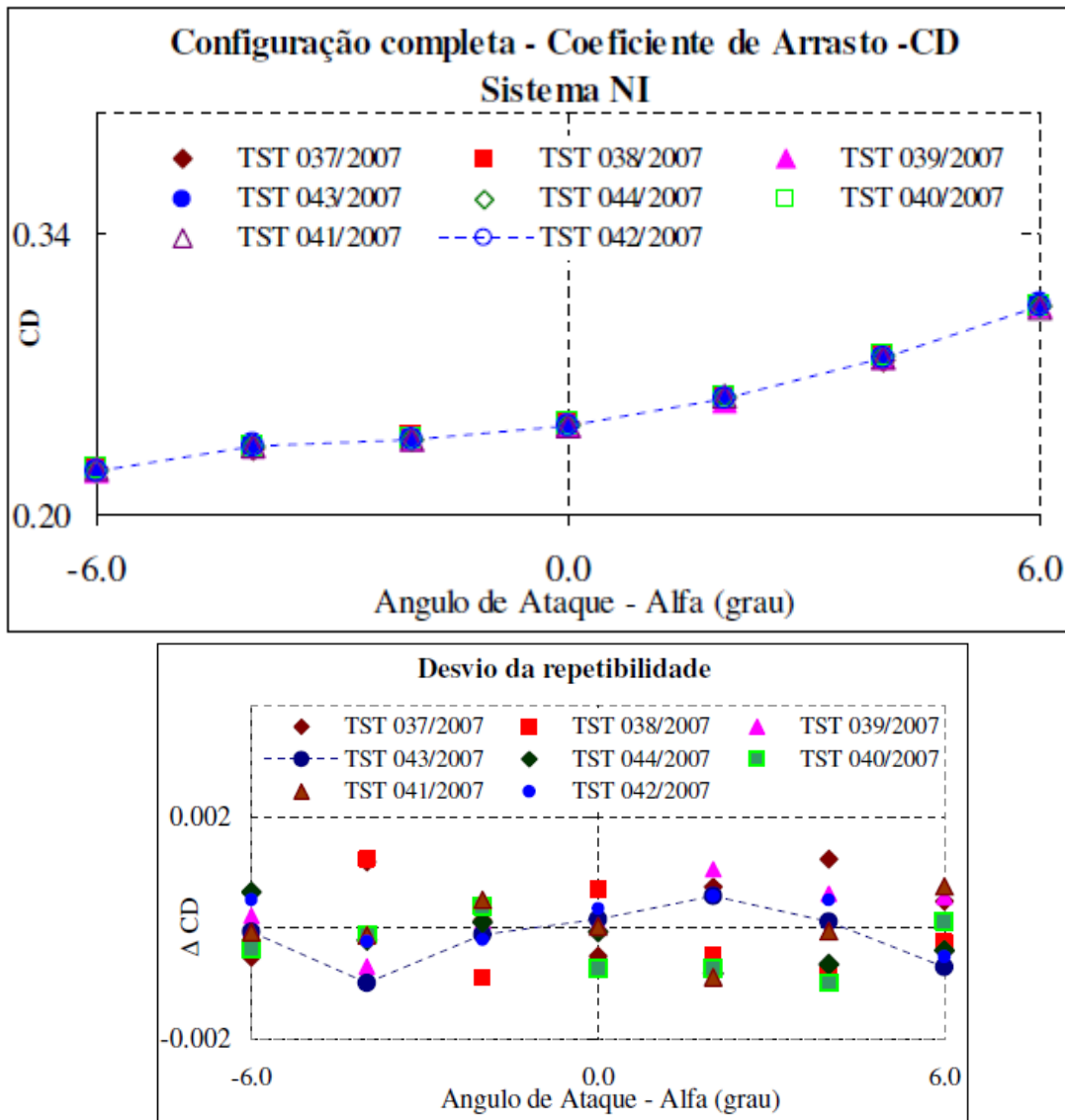


Fig. 12 – Repetibilidade de curto prazo para Sistema HP e NI para condição de aterrager– medidas do CD e os desvios

5. Conclusões

a) A caracterização da qualidade para ensaios de curto prazo, através dos resultados 1 e 2 ficam bem definidos como de alto padrão internacional. b) A faixa de variação do desvio do coeficiente de Arrasto (CD) de 0.0005 são obtidos comumente, sendo possível sem grandes investimentos em equipamentos ou tempo de ensaios trabalhar na faixa de 0.0002, valores estes possíveis somente em Centro de Pesquisa Tradicionais, como USA, França, Holanda e Alemanha. c) No resultado 3 observa-se, em termos de repetibilidade de longo prazo, que temos algum problema de reprodutibilidade da mesma configuração de ensaio, isto é, as pequenas deformações, ajustes de encaixes das peças estariam determinando estes desvios. d) Os desvios são visivelmente típicos de erros sistemáticos. A solução será ter um modelo de alto padrão, sem peças modulares, que seria um “modelo padrão”, utilizável para ensaios intralaboratoriais e interlaboratoriais.

e) No resultado 4 observamos variação do CD ordem de 0.0015. Por se tratar de configuração de alta carga na asa, com nível de turbulência alta, o fato do desvio padrão aumenta significativamente. Como esta configuração não é de otimização do vôo (CD baixo) não apresenta grande relevância a qualidade do CD e sim ter CL (sustentação alta).

6. Referências

- Pope, A.; Rae Jr. W. H. and Harper, J. J. – "Low Speed Wind Tunnel Testing" – John Wiley & Sons, 3 rd edition, 1999, USA.
- Cockrell, D. J. et al., "Blockage corrections for bluff bodies in confined flows", ESDU editions, number 80024, 1998, USA.
- Cockrell, D. J. et al., "Lift interference and blockage corrections for two dimensional subsonic flow in vented and closed wind tunnels", ESDU editions, number 76028, 1995, USA. BIPM / IEC / IFCC / ISO / IUPAP / OIML, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements", 1995.
- Chisaki M.e Moraes, L. F. G.. – "Problemas Encontrados na Realização de Ensaio Bidimensionais em Túnel de Vento" – Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (COBEM), 2001, Uberlândia MG.
- Chisaki M.e Moraes, L. F. G.. – "Ensaio Bidimensionais em Túnel de Vento" – Anais do 1º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), 2000, Natal RN.
- Truys C. F., "Manual de Operação da Interface entre HBM e PSI", CTA – Centro Técnico da Aeronáutica – ASA L, São José dos Campos, SP, Brasil, Outubro 2002.
- Truys C. F., CDROM n. 01-2003 – Programas desenvolvidos para o sistema de aquisição de dados HBM, CTA – Centro Técnico da Aeronáutica – ASA L, São José dos Campos, SP, Brasil, Jun 2003.
- Reis M. L. C. C., "Expressão da Incerteza da Medição Associada a um Ensaio Aeronáutico em Túnel de Vento Subsônico", Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, out. de 2000, 103 p
- Avelar, A. C. J., Maeda P. T.; Reis M. L. C. C. e Mello O. A. F. – Determination of Turbulence level in the TA-2 Aerodynamic Wind Tunnel. – COBEM 2003 – 08-52 – São Paulo, SP, 2003.
- Chisaki M.; Reis M. L. C. C. e Mello A. O. F, "Avaliação da Incerteza na correção das pressões estáticas e dinâmicas em um ensaio em túnel de vento" – IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas - ENCIT 2002 – CIT02-0827 –Caxambu, MG, 2002.
- Chisaki M.; Reis M. L. C. C.; Novaski O.; Mello O. A. F. "Incerteza da Medição de um Ensaio em Túnel de Vento Subsônico", Anais do Congresso Metrologia 2000, 4 - 7 dez., São Paulo, pp. 70- 79, 2000.
- Nogueira, S. L. Calibração de Sistemas de Medidas de Múltiplas Componentes Com Iteração – Tese de Mestrado, ITA, São José dos Campos, SP, 1980.
- Pullin, D. C. Relatório de Ensaio No PAR-G 82/19, 1982

7. Direitos Autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.