



COMISSÃO TÉCNICA DE VAZÃO CT-13
DICLA - Divisão de Acreditação de Laboratórios
Cgcre - Coordenação Geral de Acreditação

RELATÓRIO FINAL DO
3º PROGRAMA DE COMPARAÇÃO INTERLABORATÓRIAL EM
ANEMOMETRIA

Dezembro/2017

Resumo

O presente relatório apresenta o detalhamento e os resultados do 3º Programa de Comparação Interlaboratorial em Anemometria (3º PI de Anemometria) organizado e desenvolvido no âmbito da Subcomissão do Programa Interlaboratorial em Velocidade de Fluidos da CT-13 Comissão de Assessoramento às Atividades de Acreditação da Cgcre do Inmetro. Esse programa foi concebido em 31.10.2012 e finalizado em 30.10.2017. Contou com a participação dos laboratórios de anemometria das empresas Chrompack Instrumentos Científicos Ltda., Skilltech Instrumentos de Precisão Ltda., Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT e Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia-Inmetro. O artefato utilizado na comparação foi um anemômetro de pás do tipo eletrônico da marca Testo, modelo 400, número de série 00828766/304, com diâmetro da cabeça da sonda de 0,6 pol (15,2 mm). A faixa de velocidades de ar definida para a comparação foi de 2 m/s a 20 m/s. Os resultados obtidos indicaram que, de uma forma geral, todos os laboratórios participantes obtiveram resultados satisfatórios na comparação.

Palavras-chave: túnel de vento, calibração de anemômetro, anemometria, ensaio de proficiência, comparação interlaboratorial, velocidade de fluidos.

Sumário

1. INTRODUÇÃO:	4
2. OBJETIVO	4
3. PARTICIPANTES	5
4. VALOR DE REFERÊNCIA	5
5. METODOLOGIA	5
6. RESULTADOS E ANÁLISES	7
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	12
7. EQUIPE TÉCNICA	13
8. BIBLIOGRAFIA	13

1. INTRODUÇÃO:

Na 14ª reunião da Comissão Técnica de Vazão CT-13, realizada em 31.10.2012, a Subcomissão do Programa Interlaboratorial em Velocidade de Fluidos se reuniu para realizar as definições iniciais do 3º Programa de Comparação Interlaboratorial em Anemometria (3º PI de Anemometria).

Nessa reunião, foi definido que o laboratório coordenador do 3º PI de Anemometria seria a Chrompack. Essa coordenação se manteve até o final do programa sob a gerência do eng.º Alexandre Fascina da Silva.

Nas reuniões da CT-13 realizadas em 2013 foram definidos os participantes do programa e, também, o artefato a ser utilizado.

Os participantes do 3º PI de Anemometria foram: Chrompack, Skillteck, INMETRO/DIMCI, IPT e UFRGS. Em virtude da Chrompack ser a coordenadora do programa, essa empresa se propôs a fornecer o artefato para o programa, no caso um anemômetro de pás, de marca Testo, modelo 400, número de série 00828766/304.

Inicialmente, em 2013, foi definido que o INMETRO/DIMCI seria o Laboratório de Referência. Porém, em março de 2016 esse laboratório declinou. Também, foi cogitado utilizar o método de Cox (2002) para análise dos resultados. No entanto, após as análises conjuntas dos resultados, realizadas em novembro de 2016, os laboratórios participantes optaram por estabelecer como Valor de Referência a média dos laboratórios.

Na 16ª reunião, realizada em 07.08.2013, foi estabelecido que o Sr. Maurício Soares da CGCRE do INMETRO ficaria responsável pela compilação dos resultados e descaracterização dos laboratórios.

O presente relatório apresenta os resultados obtidos pelos laboratórios participantes do programa e, também, as curvas dos erros normalizados e uma avaliação dos resultados.

2. OBJETIVO

O 3º PI de Anemometria foi concebido como o objetivo de permitir a comparação de medidas realizadas pelos laboratórios de calibração acreditados e em processo de acreditação pela Cgcre do Inmetro na faixa de velocidades de 2 m/s a 20 m/s.

3. PARTICIPANTES

Em comum acordo entre os representantes dos laboratórios pertencentes à Subcomissão em Velocidade de Fluidos do CT-13 foram incluídos no 3º Programa de Comparação Interlaboratorial em Anemometria os laboratórios listados na Tabela 1.

Tabela 1. Laboratórios participantes do 3º Programa de Comparação Interlaboratorial em Anemometria

Número da Acreditação	Nome do Laboratório	Instituição ou Empresa
CAL 0400	Skilltech Instrumentos de Precisão Ltda.	Skilltech Instrumentos de Precisão Ltda.
CAL 0162	Centro de Metrologia Mecânica, Elétrica e de Fluidos-CTmetro Divisão de Metrologia em Dinâmica dos Fluidos	Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia–INMETRO/DIMCI
CAL 0256	Laboratório Chrompack Instrumentos Científicos Ltda.	Chrompack Instrumentos Científicos Ltda.
CAL 0534	Laboratório de Aerodinâmica das Construções	Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS

4. VALOR DE REFERÊNCIA

Nas reuniões da CT-13 realizadas desde o início desse programa em 2013 até o momento das análises dos resultados em 2016, foi definido que nesse programa de comparação interlaboratorial o valor de referência para cada velocidade de comparação seria o valor médio obtido a partir das medidas de todos os laboratórios participantes.

5. METODOLOGIA

Os pontos de calibração definidos para as comparações foram as velocidades de 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s, 8 m/s, 10 m/s, 12 m/s, 16 m/s e 20,0 m/s. Essas velocidades foram definidas como os valores lidos na indicação do display do anemômetro. Foi definido, também, que as calibrações deveriam ser realizadas de acordo com o procedimento interno de cada um dos laboratórios participantes.

A coordenação do programa ficou a cargo Laboratório Chrompack Instrumentos Científicos Ltda., por meio de seu gerente técnico Sr. Alexandre Fascina da Silva. Dessa forma, ficaram a cargo desse laboratório a calibração inicial do artefato e, também, a

verificação da estabilidade do instrumento após este ser calibrado pelos demais laboratórios.

Foi definido que o artefato a ser utilizado na comparação seria o anemômetro de pás da marca Testo, modelo 400, número de série 00828766/304, com diâmetro da cabeça da sonda de 0,6 pol, ou 15,2 mm, apresentado na Figura 1. Esta sonda deveria ser posicionada no centro da seção de testes do túnel de vento do laboratório de tal forma que a superfície onde existe a marcação da sonda, um ponto visível, recebesse frontalmente o escoamento de ar do túnel.

Figura 1. Anemômetro pás do Testo 400



Fonte: Chrompack.

As velocidades de referência (V_{ref}) e as incertezas expandidas de referência (U_{ref}) utilizadas nesse programa de comparação interlaboratorial foram as médias dos valores reportados por cada laboratório participante (V_{labi}), da seguinte forma:

$$V_{ref} = \frac{V_{lab1} + V_{lab2} + V_{lab3} + V_{lab4} + V_{lab5}}{5} \quad \text{Eq. (1)}$$

A incerteza expandida de referência U_{ref} foi obtida por meio de:

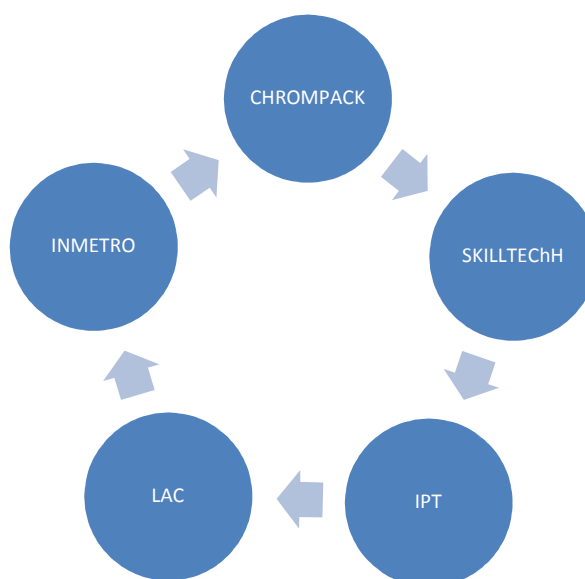
$$U_{ref} = \frac{U_{lab1} + U_{lab2} + U_{lab3} + U_{lab4} + U_{lab5}}{5} \quad \text{Eq. (2)}$$

O erro normalizado (EN) foi calculado para cada uma das oito velocidades de calibração, conforme metodologia de cálculo descrita a seguir.

$$EN = \frac{V_{labi} - V_{ref}}{\sqrt{U_{labi}^2 + U_{ref}^2}} \quad \text{Eq. (3)}$$

A ordem de circulação do artefato adotada no programa foi definida de modo a facilitar a logística, ou seja, pelo posicionamento geográfico dos laboratórios, e está apresentada na Figura 2.

Figura 2. Sequência de calibração, iniciando com a Chrompack.



Fonte: Chrompack

6. RESULTADOS E ANÁLISES

Os laboratórios foram descaracterizados pelo representante da Dicla na CT-13 e receberam as identificações: LAB 1, LAB 2, LAB 3, LAB 4 e LAB 5. Os resultados das calibrações de cada um desses laboratórios estão apresentados nas Tabelas 2 até 6. Porém, a partir das análises dos dados, verificou-se que os LAB 1 e LAB 3 fizeram regressão linear dos dados da calibração e os valores das velocidades indicadas e de referência estão ajustadas pela regressão linear. Dessa forma, após essa constatação, optou-se por realizar a regressão linear e o ajuste nas curvas dos demais laboratórios (LAB 2, LAB 4, LAB 5) para que todos estivessem na mesma condição para análise dos dados.

Tabela 2. Resultados da calibração realizada pelo LAB 1.

V lab (m/s)	V ind (m/s)	σ (m/s)	U lab (%)	U lab (m/s)	k
-	-	-	-	-	-
3,89	4,00	0,034	2,66	0,10	2,16
5,92	6,00	0,054	2,57	0,15	2,32
7,95	8,00	0,043	1,64	0,13	2,21
9,99	10,00	0,073	2,09	0,21	2,37
12,02	12,00	0,056	1,45	0,17	2,23
16,09	16,00	0,063	1,27	0,21	2,21
20,15	20,00	0,063	1,17	0,24	2,20

Fonte: LAB 1

Tabela 3. Resultados da calibração realizada pelo LAB 2.

V lab (m/s)	V ind (m/s)	σ (m/s)	U lab (%)	U lab (m/s)	k
1,78	2,00	0,02	0,06	0,11	2
3,79	4,00	0,03	0,04	0,16	2
5,79	6,00	0,02	0,04	0,21	2
7,79	8,00	0,03	0,05	0,39	2
9,80	10,00	0,02	0,04	0,42	2
11,80	12,00	0,02	0,04	0,45	2
15,81	16,00	0,02	0,03	0,53	2
19,82	20,00	0,02	0,03	0,62	2

Fonte: LAB 2

Tabela 4. Resultados da calibração realizada pelo LAB 3.

V lab (m/s)	V ind (m/s)	σ (m/s)	U lab (%)	U lab (m/s)	k
1,99	2,00	0,014	13,57	0,27	2
4,00	4,00	0,011	6,25	0,25	2
6,02	6,00	0,011	4,32	0,26	2
8,04	8,00	0,011	3,11	0,25	2
10,05	10,00	0,009	5,57	0,56	2
12,07	12,00	0,011	4,39	0,53	2
16,10	16,00	0,006	3,23	0,52	2
20,13	20,00	0,006	2,58	0,52	2

Fonte: LAB 3

Tabela 5. Resultados da calibração realizada pelo LAB 4.

V lab (m/s)	V ind (m/s)	σ (m/s)	U lab (%)	U lab (m/s)	k
1,76	2,00	0,02	3,45	0,07	2
3,74	4,00	0,03	1,73	0,07	2
5,72	6,00	0,02	1,30	0,07	2
7,70	8,00	0,01	1,14	0,09	2
9,68	10,00	0,03	1,08	0,10	2
11,66	12,00	0,02	1,05	0,12	2
15,62	16,00	0,06	1,02	0,16	2
19,58	20,00	0,06	1,02	0,20	2

Fonte: LAB 4

Tabela 6. Resultados da calibração realizada pelo LAB 5.

V lab (m/s)	V ind (m/s)	σ (m/s)	U lab (%)	U lab (m/s)	k
1,88	2,00	0,014	12,29	0,26	2
3,90	4,00	0,011	2,45	0,10	2
5,92	6,00	0,010	1,64	0,10	2
7,94	8,00	0,006	1,24	0,10	2
9,96	10,00	0,007	0,99	0,10	2
11,98	12,00	0,010	0,99	0,12	2
16,02	16,00	0,009	0,99	0,16	2
20,06	20,00	0,035	0,99	0,20	2

Fonte: LAB 5

Legenda:

- V_{lab} : velocidade do ar medida pelo laboratório (m/s)
- V_{ind} : velocidade do ar indicada pelo artefato calibrado (m/s)
- T : temperatura média do ar durante a medição (°C)
- UR : umidade relativa do ar ambiente durante a medição (%)
- P_{atm} : pressão atmosférica do ar ambiente durante a medição (mmHg)
- ρ : massa específica do ar durante a medição (kg/m³)
- σ : desvio padrão experimental da média (m/s)
- U_{lab} : incerteza expandida associada à velocidade medida pelo laboratório (% ou m/s)
- k : fator de abrangência

Para realizar o cálculo do erro normalizado (EN) referente ao resultado de cada laboratório (LAB i), o valor de referência foi calculado por meio da Eq. (1) e a incerteza expandida associada a esse valor de referência (U_{ref}) foi calculada por meio da Eq. (2).

Na Tabela 8 são mostrados os valores de referência e, também, os erros normalizados referentes aos resultados de cada laboratório, calculados por meio da Eq. (3).

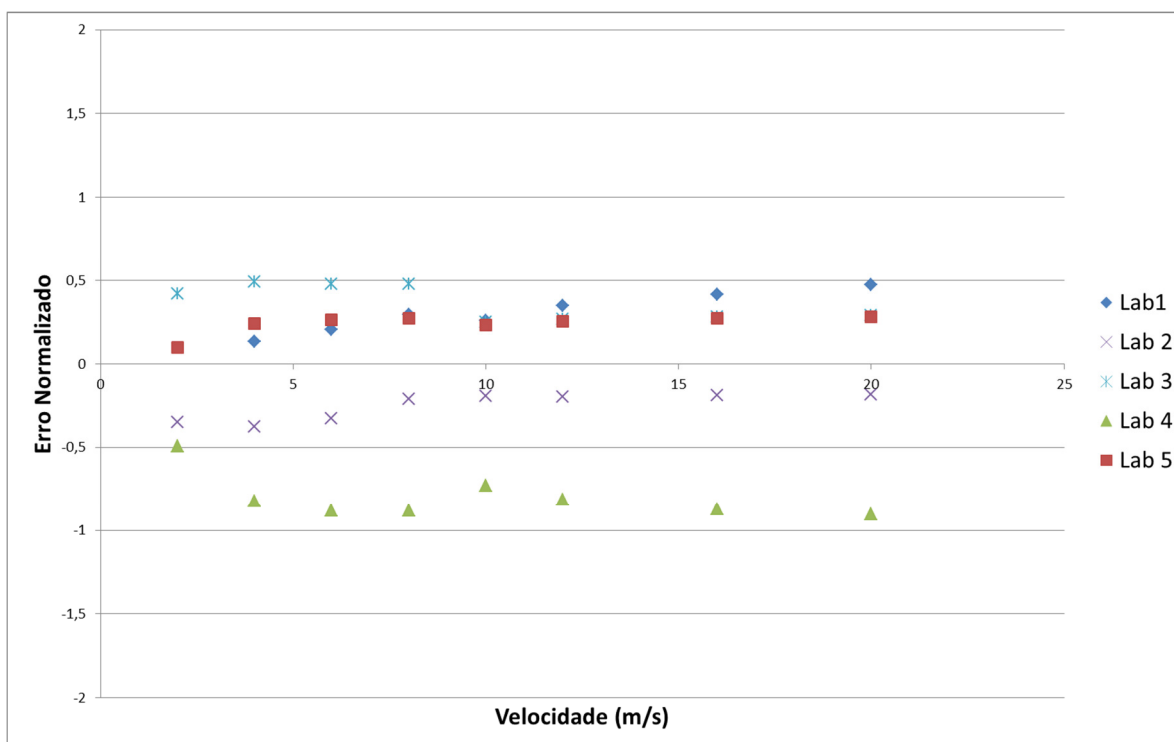
Tabela 7. Valores das velocidades de referência (V_{ref}) com as respectivas incertezas expandidas associadas a essas velocidades (U_{ref}) e os valores dos erros normalizados referentes aos resultados obtidos pelos laboratórios participantes.

V_{ref} (m/s)	U_{ref} (m/s)	EN LAB 1	EN LAB 2	EN LAB 3	EN LAB 4	EN LAB 5
1,85	0,18	-	-0,35	0,42	-0,49	0,10
3,86	0,14	0,13	-0,38	0,49	-0,82	0,24
5,88	0,16	0,21	-0,32	0,48	-0,88	0,26
7,89	0,19	0,29	-0,21	0,48	-0,88	0,27
9,90	0,28	0,26	-0,19	0,25	-0,73	0,23
11,91	0,28	0,35	-0,20	0,27	-0,81	0,26
15,93	0,32	0,42	-0,19	0,28	-0,87	0,27
19,95	0,36	0,47	-0,18	0,29	-0,90	0,28

Fonte: autores

Na Figura 3 é mostrado o gráfico com os erros normalizados obtidos por cada laboratório em função das velocidades de referência.

Figura 3. Resultados dos erros normalizados de cada laboratório.



Fonte: autores

Com base nos resultados dos erros normalizados, verificou-se que todos os laboratórios apresentaram valores que resultaram dentro da faixa $-1 \leq EN \leq 1$. Baseado no critério adotado, e levando-se em conta que o artefato selecionado para esse programa atendia aos critérios de blocagem máxima do escoamento (ABNT, 2012, LEGG, 1970) todos os laboratórios apresentaram condições adequadas para realizar calibrações de anemômetros de pás, com diâmetro de até 15,2 mm, como foi o caso do Testo 400 utilizado nesse Programa de Comparação Interlaboratorial.

Também deve ser destacado que em alguns laboratórios o erro normalizado foi positivo e em outros o erro foi negativo. Sendo que, os LAB 1, LAB 3 e LAB 5 apresentaram as curvas com características e valores similares, com *EN* positivo, enquanto os LAB 2 e LAB 4 apresentaram resultados com valores negativos dos *ENs*. No próximo Programa de Comparação Interlaboratorial de Anemometria, os laboratórios devem ficar atentos a esses resultados, e se possível, realizar novas calibrações para verificar se não houve erros no processo.

Foi reportado pelo LAB 5 que, durante a calibração, o artefato apresentou indicações incorretas das temperaturas em alguns pontos de velocidade. A temperatura ambiente média foi de 23,4 °C e os valores incorretos indicados ocorreram nos seguintes pontos:

- 8 m/s, indicando 7,18 °C;
- 10 m/s, indicando 2,97 °C; e
- 20 m/s, indicando 10,33 °C.

Esse fato não foi reportado pelos demais laboratórios, talvez por não ter ocorrido ou por não terem percebido, já que todos estavam focados em calibrar o artefato apenas em sua indicação de velocidade do ar. Como não houve uma análise mais ampla do efeito da indicação da temperatura na velocidade indicada pelo artefato, não é possível saber se esta impactou de alguma forma o resultado dos laboratórios participantes desse 3º PI.

Deve ser reportado também que o artefato escolhido é um equipamento que pertence à Chrompack há pelo menos 13 anos e é de uso frequente da empresa. Quando esse programa de comparação interlaboratorial se iniciou, em 2013, o anemômetro em questão já tinha de 9 a 10 anos de uso.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os erros normalizados de todos os laboratórios participantes resultaram na faixa entre $-1 \leq EN \leq 1$. Ou seja, todos os laboratórios apresentaram condições adequadas para realizar calibrações de anemômetros de pás, com diâmetro de até 15,2 mm.

Como aprendizado desse 3º PI de Anemometria, sugere-se para os seguintes:

- Nos próximos programas de comparação interlaboratorial de velocidade de fluidos, sejam realizadas calibrações cegas, ou seja, que o padrão itinerante não indique em velocidades do ar, mas indique em pulsos, corrente elétrica, tensão elétrica etc., mas, nesses casos, também não devem ser fornecidos o fundo de escala e tampouco as equações de conversão do sinal adquirido em velocidade do ar.
- O protocolo do programa deve estar definido antes do início das calibrações. Um dos motivos das várias alterações e intercorrências que ocorreram no 3º PI de Anemometria foi o desenvolvimento do protocolo da comparação com o programa em andamento.
- Caso seja utilizado um artefato com sinal de saída configurável para condições específicas, por exemplo condições *standard* de 20 °C, 70 °F (21,1 °C), 60 °F (15,6 °C) ou outra qualquer, e de pressão de 1 atm, 101,325 kPa, ou outra qualquer, definir as condições de medição visando uniformizar os procedimentos a serem utilizados pelos participantes nas calibrações.
- Também deve ficar claro se os laboratórios deverão realizar regressão linear das curvas de calibração ou se deverão entregar os dados crus. Pois, nesse 3º PI alguns laboratórios entregarem os dados ajustados por regressão linear.

7. EQUIPE TÉCNICA

- CHROMPACK: Alexandre Fascina da Silva e Renato Souza Goulart.
- SKILLTECH: Mateus Yoshio Yamamoto e Vinicius Nicola Teixeira.
- IPT: Gilder Nader e Andre Barsaglini da Costa.
- LAC/UFRGS: Miguel Chaves Custódia e Emerson Franco de Menezes.
- INMETRO: Maria Helena Farias e Fábio Ouverney Costa

São Paulo, 06 de dezembro de 2017.

Divisão de Metrologia em Dinâmica dos Fluidos
Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia -
Inmetro

Centro de Metrologia Mecânica, Elétrica e de Fluidos
Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT

Laboratório CHROMPACK Instrumentos Científicos Ltda.
Chrompack Instrumentos Científicos Ltda.

Laboratório de Calibração Skilltech
Skilltech Instrumentos de Precisão Ltda.

Laboratório de Aerodinâmica das Construções
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

8. BIBLIOGRAFIA

ABNT NBR IEC 61400-12-1-Anexo F – **Procedimento de calibração de anemômetros de copos**, 2012

COX, M.G. **The evaluation of key comparison data**, *Metrologia*, 2002.

LEGG, R.C., **The Calibration of Anemometers in a Six-inch Open Jet Wind Tunnel**, *Heating and Ventilation Engineering*, pp 57-63, agosto, 1970.