

INTERLABORATORIAL DE PITOMETRIA EM CAMPO – PROGRAMA PILOTO

Adauto Luiz de Souza da Silva

Encarregado da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp
Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção – MAGG.

Andre Luiz dos Santos

Técnico em Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp
Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção – MAGG.

Olavo Alberto Prates Sachs

Engenheiro da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp
Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção – MAGG.

Endereço: Rua Sumidouro, 448, Pinheiros, São Paulo - CEP 05428-010 – Brasil – Tel. (11)3388 8453,
e-mail: adautosilva@sabesp.com.br

RESUMO

O presente trabalho foi apresenta o detalhamento e os resultados do 1º Programa de Comparação Interlaboratorial em Pitometria em campo (1º PI de Pitometria em campo) 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. Esse programa foi concebido em 14.03.2018, na 30ª reunião da Comissão Técnica de Vazão CT-13 e finalizado em 19.03.2019. Contou com a participação dos laboratórios de pitometria das empresas Conaut Controles Automáticos Ltda., IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp e Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa.

A subcomissão decidiu pela utilização da unidade da Sabesp situada à Rua Franklin do Amaral, nº 1281, no bairro da Vila Nova Cachoeirinha, na cidade de São Paulo/SP, onde existe instalado um medidor de vazão do tipo eletromagnético da marca Fisher - Rosemount, modelo 570TM50004SSF4A2V, diâmetro 500 mm, nas faixas de 150 L/s, 350 L/s e 500 L/s.

PALAVRAS-CHAVE: Pitometria em campo, calibração de macromedidores, interlaboratorial

1. INTRODUÇÃO

Na 30ª reunião da Comissão Técnica de Vazão CT-13, foi realizado em 14.02.2018, a Subcomissão do Programa Interlaboratorial medição em água se reuniram e realizaram as definições iniciais do 1º Programa de Comparação Interlaboratorial de calibração de medidores de água através da Pitometria em campo (1º PI de Pitometria em campo).

Nesta reunião, foi definido pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp o local dos ensaios e também pela coordenadoria do 1º PI de Pitometria em campo. Essa coordenação se manteve até o final do programa sob a responsabilidade do eng.º Olavo Alberto Prates Sachs.

Nas reuniões da CT-13 realizadas em 2018 foram definidos os participantes do programa e, também, o local onde seriam executados os ensaios Interlaboratoriais.

Os participantes do 1º PI de Pitometria em campo foram: Conaut Controles Automáticos Ltda., IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp e Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa. A subcomissão decidiu pela utilização da unidade da Sabesp situada à Rua Franklin do Amaral, nº 1281, no bairro da Vila Nova Cachoeirinha, na cidade de São Paulo / SP, onde existe instalado um medidor de vazão do tipo eletromagnético da marca Fisher - Rosemount, modelo 570TM50004SSF4A2V, diâmetro 500 mm, nas faixas de 150 L/s, 350 L/s e 500 L/s.

Na 31ª reunião, realizada em 17.08.2018, foi estabelecido que o Sr. Maurício Soares da Cgcre, será o 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

Este programa foi um projeto piloto que visou a aprendizagem conforme a norma NIE-Cgcre-045. Além disso, os outros objetivos desse programa de comparação interlaboratorial são:

- (a) avaliar e comparar o desempenho metrológico dos laboratórios participantes, especificamente no serviço de calibração de medidores de vazão volumétrica de água por meio da técnica de Pitometria em campo;
- (b) fornecer subsídios que possibilitem aos laboratórios participantes implementar melhorias em seu sistema de gestão da qualidade, notadamente no serviço relacionado à calibração foco deste programa;
- (c) identificar possíveis questões técnicas de interesse dos laboratórios participantes, ou mesmo de aplicação no âmbito geral da Comissão, buscando sanar lacunas comuns, harmonizar práticas metrológicas, além de gerar conhecimentos e experiências que possam ser aplicados nas próximas comparações interlaboratoriais.

3. PARTICIPANTES

Os laboratórios participantes deste programa são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Laboratórios participantes

Nome do laboratório	Endereço	Representantes	Número de acreditação
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo	Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Prédio 37 - São Paulo - SP CEP: 05508-901	Rui Gomez Teixeira de Almeida - ruipta@ipt.br Valmir Ruiz - valmir@ipt.br (11) 3767-4756	CAL 162
Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp	Rua Sumidouro, 448 - São Paulo - SP CEP: 05428-010	Viviana M. N. de A. Borges vmborges@sabesp.com.br Olavo Alberto Prates Sachs osachs@sabesp.com.br (11) 3388-8770	Postulante
Companhia de Saneamento de Minas Gerais - Copasa	Rua Mar de Espanha, 453 - Santo Antônio - Belo Horizonte - MG CEP: 30330-900	Geraldo Marques da Costa Geraldo.costal@copasa.com.br Valter de Souza Lucas Júnior Valter.lucas@copasa.com.br (31) 3250-1415	Postulante
Conaut Controles Automáticos Ltda.	Estrada Louis Pasteur, 230 - Embu das Artes - SP CEP: 06835-701	Araquem B. Pissolati Fernandes araquem.pissolati@conaut.com.br Caio Andrade caio.braga@conaut.com.br (11) 4785-2810//4785-2700	CAL 168

4. VALOR DE REFERÊNCIA

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

A comparação interlaboratorial foi baseada na realização por cada laboratório participante da calibração de um medidor de vazão de água por princípio eletromagnético, instalado em uma tubulação de transporte de água da concessionária Sabesp.

O método de calibração que foi utilizado pelos laboratórios foram para determinar a vazão de referência por meio da técnica de Pitometria em campo, que consiste no mapeamento do perfil de velocidades do escoamento de água por intermédio de um tubo de Pitot do tipo Cole, sendo a comunicação dos equipamentos transdutores diferenças de pressão, realizadas por meio de comunicação hart com a planilha de mapeamento.

5.1 Medidor a ser calibrado

A subcomissão decidiu pela utilização da unidade da Sabesp situada à Rua Franklin do Amaral, nº 1281, no bairro da Vila Nova Cachoeirinha, na cidade de São Paulo / SP, onde existe instalado um medidor de vazão do tipo eletromagnético. A Tabela 2 apresenta dados do medidor e das suas condições operacionais.

Tabela 2. Dados do medidor a ser calibrado e das suas condições operacionais

Medidor tipo	Fabricante	Modelo	Vazão máxima (L/s)	Vazão mínima (L/s)	Diâmetro nominal (mm)	Pressão nominal (mca)
Eletromagnético	Fisher-Rosemount	570TM50004SSF4A2V	1 200	150	500	15

Em série ao medidor de vazão, encontram-se instalados dois taps de pitometria, um na geratriz superior e outro na lateral da tubulação. A Figura 1 a seguir apresenta um corte transversal da caixa de pitometria com as principais dimensões necessárias à escolha pelos laboratórios do tubo de Pitot a ser utilizado na calibração.

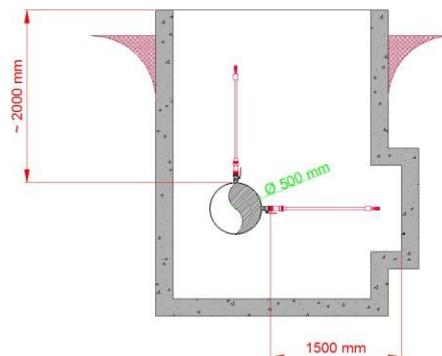


Figura 1. Corte transversal da caixa de pitometria

Para a execução dos serviços de calibração do medidor, a Sabesp autorizou o livre acesso ao local para as equipes dos laboratórios participantes deste programa nas datas programadas.

5.2 Fator K de configuração do medidor

Em função da dificuldade de se encontrar um profissional com vínculo independente para a configuração do fator K do medidor a ser calibrado com um valor incógnito aos participantes, a subcomissão do programa decidiu manter o seu valor original. Dessa forma, o valor do fator K configurado no medidor foi Tube cal: 1109554810000001.

Nenhum laboratório participante do programa deverá realizar qualquer tipo de alteração ou intervenção nos parâmetros de configuração do medidor, assim como, o mesmo não deverá sofrer qualquer ajuste ou modificação física ou eletroeletrônica.

5.3 Procedimento de calibração

À exceção dos requisitos e parâmetros especificamente definidos neste documento, cada laboratório deverá utilizar o seu próprio método adotado no seu procedimento de calibração que será objeto desta intercomparação.

5.4 Vazões de calibração

O medidor de vazão eletromagnético foi calibrado nas três seguintes vazões da sua faixa de operação:

150 L/s (velocidade nominal da ordem de 0,76 m/s)

350 L/s (velocidade nominal da ordem de 1,78 m/s)

500 L/s (velocidade nominal da ordem de 2,55 m/s)

O resultado em cada vazão de calibração foi o valor obtido pelo mapeamento realizado pelo laboratório nos traverses vertical e horizontal.

A vazão de operação do medidor durante a sua calibração se manteve estável e não houve flutuação na vazão que excedesse em $\pm 5\%$ dos valores definidos anteriormente.

O medidor de vazão foi calibrado em relação ao seu sinal de saída em corrente elétrica na faixa de 4 mA a 20 mA.

A operação da instalação e a regulagem das vazões de calibração foram executadas pela equipe da Sabesp, responsável pela operação da unidade onde se encontra instalado o medidor. Essa mesma equipe se responsabilizou por indicar ao laboratório participante o ponto de aquisição do sinal de saída do medidor eletromagnético que foi calibrado.

No local do ensaio, foi disponibilizado pela Sabesp um ponto de fornecimento de energia elétrica de 127 V ou 220 V, em 60 Hz, para alimentação da instrumentação utilizada pelos participantes da comparação.

5.5 Parâmetro de comparação

O parâmetro de comparação a ser utilizado neste programa é o erro percentual da medida fornecida pelo medidor eletromagnético em cada vazão de calibração determinado pelo laboratório, conforme definido pela expressão (1):

$$E_{lab\ i} = \frac{Q_{medidor} - Q_{lab\ i}}{Q_{lab\ i}} \cdot 100 \quad [\%] \quad \text{Eq. (1)}$$

onde:

$E_{lab\ i}$: erro percentual da medida do medidor eletromagnético determinado pelo laboratório i onde $i = 1, 2, \dots, n$, [%]

$Q_{medidor}$: vazão indicada pelo medidor eletromagnético durante a sua calibração pelo laboratório i onde $i = 1, 2, \dots, n$, em L/s

$Q_{lab\ i}$: vazão de referência medida pelo laboratório i onde $i = 1, 2, \dots, n$, em L/s

5.6 Definição do valor de referência

Para cada uma das três vazões de comparação, os valores de referência para o parâmetro de comparação foram estabelecidos por meio do valor obtido pela média aritmética dos resultados declarados por cada um dos laboratórios participantes. Ou seja:

$$E_{ref} = \frac{E_{lab1} + E_{lab2} + \dots + E_{labn}}{n} \quad \text{Eq. (2)}$$

onde:

E_{ref} : erro percentual de referência para a vazão de calibração sob comparação, [%]

$E_{lab\ i}$: erro percentual da medida do medidor eletromagnético determinado pelo laboratório i onde $i = 1, 2, \dots, n$, [%]

n : número total de laboratórios participantes da comparação para a vazão específica de calibração

5.7 Outliers

Foram utilizados todos os valores declarados pelos laboratórios participantes, independentemente do método de medição utilizado. Não obstante, foi utilizado o teste de Grubbs (considerando um nível de significância de 5 %) para a exclusão de valores eventualmente discrepantes (outliers).

Este teste detecta outliers de distribuições normais. Os dados testados são geralmente os valores mínimo e máximo. O resultado é uma probabilidade que indica que os dados pertencem à população principal. Se a amostra investigada tiver alguma outra distribuição, especialmente assimétrica, (por exemplo, lognormal), então esse teste dará resultado falso.

O teste é baseado na diferença da média da amostra e nos dados mais extremos considerando o desvio padrão (Grubbs, 1950; 1969; DIN 32645; DIN 38402).

O teste pode detectar um outlier de cada vez com probabilidades diferentes (consulte a tabela a seguir) de um conjunto de dados com distribuição normal assumida.

O procedimento é basicamente o seguinte:

a) ordenar os valores em ordem crescente, isto é:

$$X_1 < X_2 < X_3 < \dots < X_{n-1} < X_n$$

b) supor como hipótese que o menor valor, X_1 , ou o maior valor, X_n , pode ser considerado como valor outlier;

c) calcular a média \bar{X} e o desvio padrão s de todo o conjunto de valores;

d) calcular o valor de T_{min} ou T_{max} da seguinte forma:

$$T_{min} = \frac{\bar{X} - X_1}{s} \quad \text{ou} \quad T_{max} = \frac{X_n - \bar{X}}{s}$$

Eq. (3)

onde:

X_1 ou X_n : é o outlier suspeito
 \bar{X} : valor médio de todo o conjunto de dados
 s : desvio padrão de todo o conjunto de dados

e) selecionar o risco desejado de falsa rejeição (ex.: $\alpha = 0,05$);

f) comparar o valor calculado de T_{min} ou T_{max} com o valor tabelado (Tabela 3). Se T_{min} ou T_{max} for maior que o valor tabelado, a rejeição pode ser feita considerando o risco associado.

5.8 Incerteza associada ao valor de referência

O valor da incerteza padrão associada ao valor de referência para cada vazão calibrada foi determinado de acordo com a seguinte expressão:

$$u_{c\ ref} = \sqrt{(u_{dve})^2 + (u_{cxi})^2}$$

Eq. (4)

onde:

$u_{c\ ref}$: incerteza padrão combinada associada ao valor de referência (E_{ref}) considerando uma distribuição de probabilidades do tipo normal.

u_{dve} : incerteza que considera a dispersão dos valores de erro (Elab i) reportados pelos n laboratórios (excluindo-se eventual outlier). Será obtida a partir do cálculo do desvio padrão da média dos valores de erro reportados pelos laboratórios considerando uma distribuição de probabilidades do tipo normal. Ou seja:

$$u_{dve} = s (E_{labi}) / \sqrt{n}$$

Eq. (5)

u_{cxi} : incerteza que considera as incertezas associadas aos valores de erro (Elab i) reportados pelos laboratórios (excluindo-se eventual outlier). Obtida a partir da raiz quadrada da soma dos quadrados das incertezas padronizadas reportadas pelos laboratórios e dividida por raiz de n . Ou seja:

$$u_{cxi} = \sqrt{(u_{lab1})^2 + (u_{lab2})^2 + \dots + (u_{labn})^2} / \sqrt{n}$$

Eq. (6)

Determinada a incerteza padrão associada ao valor de referência para cada vazão calibrada, a incerteza expandida foi calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$U_{ref} = u_{c\ ref} \cdot k$$

Eq. (7)

U_{ref} : é a incerteza expandida associada ao valor de referência.

$u_{c\ ref}$: é a incerteza padrão associada ao valor de referência considerando uma distribuição de probabilidades do tipo normal.

k : fator de abrangência para um nível da confiança de 95,45 %, sendo que, para a incerteza associada ao valor de referência, se adotará $k = 2$.

5.9 Parâmetro de análise

Para avaliação dos resultados declarados pelos laboratórios participantes, foi utilizado como parâmetro o Erro Normalizado (EN) que é dado pela expressão:

$$EN = \frac{E_{labi} - E_{ref}}{\sqrt{(U_{labi})^2 + (U_{ref})^2}} \quad \text{Eq. (8)}$$

onde:

- Eref : erro percentual de referência para a vazão de calibração sob comparação, [%]
- Elabi : erro percentual da medida fornecida pelo medidor eletromagnético determinado pelo laboratório i (i = 1, 2, 3, ..., n), [%]
- Ulabi : incerteza expandida associada ao resultado apresentado pelo laboratório i (i = 1, 2, 3, ..., n), [%]
- Uref : incerteza expandida associada ao valor de referência, [%]

O resultado obtido por cada laboratório será considerado satisfatório quando $|EN| \leq 1$ e insatisfatório quando $|EN| > 1$.

5.10 Sequência de laboratórios

Os laboratórios participantes tiveram, cada um, um dia para a realização da calibração do medidor e seguiram à seguinte sequência: Sabesp, Conaut, Copasa e IPT.

5.11 Cronograma

A Figura 2 mostra o cronograma do programa.

Atividade	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18	jan/19	fev/19	mar/19
Formação do Grupo	■	■	■	■							
Elaboração do protocolo		■	■	■	■						
Inscrição dos membros do grupo	■	■	■	■							
Aprovação do protocolo						■					
Ensaio de campo							■				
Envio dos dados para análise								■			
Elaboração do relatório final									■	■	■
Mês/ano	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18	jan/19	fev/19	mar/19

Figura 2. Cronograma do programa de pitometria em campo

6. RESULTADOS

Os laboratórios foram descaracterizados pelo representante da Dicla na CT-13 Dicla na CT 13, o Sr. Mauricio Soares (masoares@inmetro.gov.br) e receberam as indicações: LAB P09; LAB P17; LAB P34; LAB P75. Os resultados das calibrações de cada um desses laboratórios estão apresentados nas Tabelas 4 a 7.

Tabela 4. Resultado da calibração realizada pela LAB P09

<i>Q_n</i>	<i>Q_{medidor}</i>	<i>Q_{lab}</i>	<i>Elab</i>	<i>U_{lab}</i>	<i>s(lab)¹</i>	<i>k(lab)</i>
(L/s)	(L/s)	(L/s)	(%)	(%)	(%)	adimensional
150	156,00	153,00	1,90	3,30	0,11	2,00
350	352,00	367,00	-3,90	2,30	0,09	2,00
500	510,00	522,00	-2,20	2,00	0,08	2,00

Fonte: Lab P09

Tabela 5. Resultado da calibração realizada pela LAB P17

<i>Q_n</i>	<i>Q_{medidor}</i>	<i>Q_{lab}</i>	<i>Elab</i>	<i>U_{lab}</i>	<i>s(lab)¹</i>	<i>k(lab)</i>
(L/s)	(L/s)	(L/s)	(%)	(%)	(%)	adimensional
150	159,15	164,20	-3,07	2,47	0,60	2,00
350	348,10	356,60	-2,38	2,10	0,02	2,00
500	515,75	533,75	-3,37	1,93	0,01	2,00

Fonte: Lab P17

Tabela 6. Resultado da calibração realizada pela LAB P34

<i>Q_n</i>	<i>Q_{medidor}</i>	<i>Q_{lab}</i>	<i>Elab</i>	<i>U_{lab}</i>	<i>s(lab)¹</i>	<i>k(lab)</i>
(L/s)	(L/s)	(L/s)	(%)	(%)	(%)	adimensional
150	146,70	146,30	0,27	2,40	0,20	2,00
350	346,60	346,80	-0,06	2,00	0,18	2,00

500 504,00 497,70 1,30 2,20 0,05 2,00

Fonte: Lab P34

Tabela 7. Resultado da calibração realizada pela LAB P75

<i>Q_n</i>	<i>Q_{medidor}</i>	<i>Q_{lab}</i>	<i>Elab</i>	<i>U_{lab}</i>	<i>s(lab)¹</i>	<i>k(lab)</i>
(L/s)	(L/s)	(L/s)	(%)	(%)	(%)	adimensional
150	158,0	162,0	-2,30	2,30	0,34	2,00
350	355,0	367,0	-3,30	2,30	0,58	2,00
500	500,0	526,0	-5,10	2,30	0,25	2,00

Fonte: Lab P75

Legenda:

Q_n: Vazão nominal durante a calibração (L/s)
 Q_{medidor}: Vazão indicada pelo medidor (L/s)
 Q_{lab}: Vazão medida por pitometria (L/s)
 Elab: Erro de medida, Erro de indicação (L/s)
 U_{lab}: Incerteza expandida final (%)
 s(lab): Desvio padrão experimental das médias (%)
 k(lab): Fator de abrangência k ou tst (adimensional)

¹ **S(lab)** foi aplicado pelos laboratórios participantes como sendo o Desvio Padrão Amostral das médias obtidas.

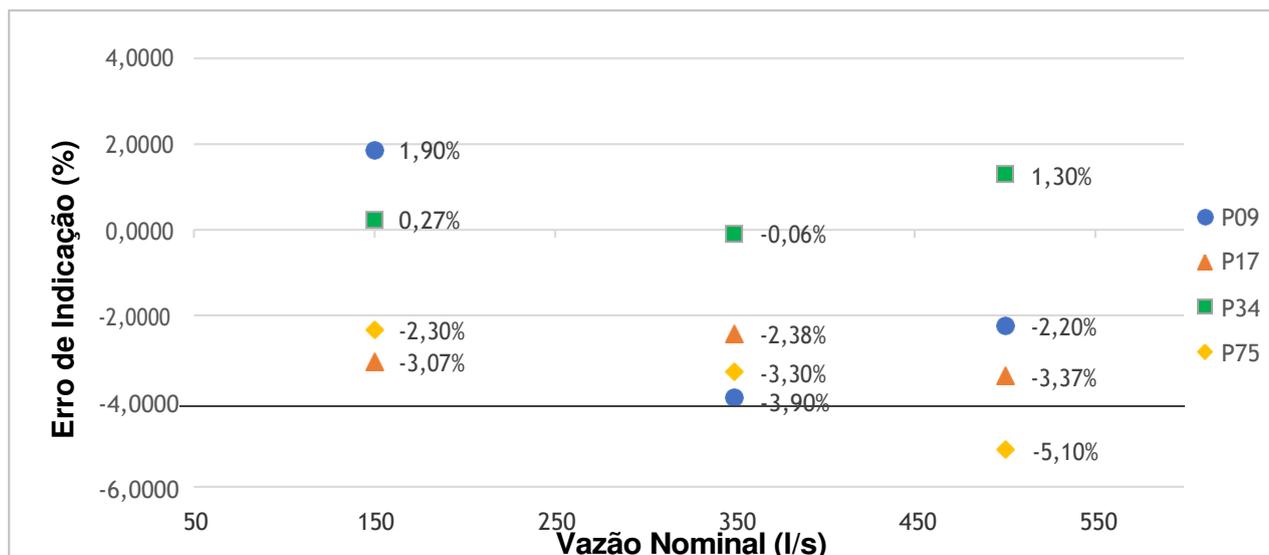
Tabela 3. Valores críticos para o teste de Grubbs

Grubbs' critical value table:

N	0.1	0.075	0.05	0.025	0.01
3	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
4	1.42	1.44	1.46	1.48	1.49
5	1.6	1.64	1.67	1.71	1.75
6	1.73	1.77	1.82	1.89	1.94
7	1.83	1.88	1.94	2.02	2.1
8	1.91	1.96	2.03	2.13	2.22
9	1.98	2.04	2.11	2.21	2.32
10	2.03	2.1	2.18	2.29	2.41

Na Figura 3 é mostrado o gráfico dos erros de indicação em função da vazão de calibração. Em cada ponto do gráfico é identificado o Elab (%) – Erro de indicação do Laboratório.

Figura 3. Gráfico dos erros de indicação



7. CALCULO DO VALOR DE REFERÊNCIA

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos testes de Grubbs e do valor de referência. Foram utilizados todos os valores declarados pelos laboratórios participantes, independentemente do método de medição utilizado. Não obstante, foi utilizado o teste de Grubbs (considerando um nível de significância de 5 %) para a exclusão de valores eventualmente discrepantes (outliers).

7.1 Teste de Grubbs

A Tabela 8 mostra a aplicação do teste de Grubbs para o ponto de 150 L/s.



Tabela 8. Resultado das calibrações realizadas no ponto de 150 L/s teste de Grubbs

Vazão (L/s)	150	
	Erro	Incerteza u
Laboratório	(%)	(%)
Lab P09	1,90	1,65
Lab P17	-3,07	1,24
Lab P34	0,27	1,20
Lab P75	-2,30	1,15

Teste de <i>Grubbs</i>	
Média dos erros	-0,80 %
Desvio padrão dos erros	2,30 %
Erro máximo	1,90 %
Erro mínimo	-3,07 %
Referência de <i>Grubbs</i> para N=4 e 5 %	1,46
Teste de Erro máximo	0,99 aceito
Teste de Erro mínimo	1,18 aceito

A Tabela 9 mostra a aplicação do teste de Grubbs para o ponto de 350 L/S.

Tabela 9. Resultado das calibrações realizadas no ponto de 350 L/s teste de Grubbs

Vazão (L/s)	350	
	Erro	Incerteza u
Laboratório	(%)	(%)
Lab P09	-3,90	1,15
Lab P17	-2,38	1,05
Lab P34	-0,06	1,00
Lab P75	-3,30	1,15



Teste de <i>Grubbs</i>	
Média dos erros	-2,41
Desvio padrão dos erros	1,69
Erro máximo	-0,06
Erro mínimo	-3,90
Referência de <i>Grubbs</i> para N=4 e 5%	1,46
Teste de Erro máximo	0,88 aceito
Teste de Erro mínimo	1,39 aceito

A Tabela 10 mostra a aplicação do teste de Grubbs para o ponto de 500 L/s.

Tabela 10. Resultado das calibrações realizadas no ponto de 500 L/s teste de Grubbs

Vazão (L/s)	500	
	Erro	Incerteza u
Laboratório	(%)	(%)
Lab P09	-2,20	1,00
Lab P17	-3,37	0,97
Lab P34	1,30	1,10
Lab P75	-5,10	1,15

Teste de Grubbs	
Média dos erros	-2,34
Desvio padrão dos erros	2,71
Erro máximo	1,30
Erro Mínimo	-5,10
Referência de Grubbs para N=4 e 5%	1,46
Teste de Erro máximo	1,02 aceito
Teste de Erro mínimo	1,35 aceito

Assim, todos os valores foram considerados válidos e todos foram utilizados para o cálculo do valor de referência.

7.2 Cálculo do valor de referência

As tabelas 11, 12, e 13 mostram os valores de referência e suas respectivas incertezas para as vazões de 150 L/s, 350 L/s e 500 L/s respectivamente.

Tabela 11. Cálculo do valor de referência para o ponto de 150 L/s

Calculo do Valor de referência para 150 L/s			
Eref	-0,80	%	Média dos erros dos laboratórios
udve	1,15	%	Desvio padrão experimental da média
ucxi	1,33	%	Composição das incertezas dos laboratórios
uref	1,75	%	Composição da incerteza do desvio padrão com a incerteza das calibrações
Uref	3,51	%	Incerteza expandida da referência considerando k=2

Tabela 12. Cálculo do valor de referência para o ponto de 350 L/s

Calculo do Valor de referência para 350 L/s			
Eref	-2,41	%	Média dos erros dos laboratórios
udve	0,84	%	Desvio padrão experimental da média
ucxi	1,09	%	Composição das incertezas dos laboratórios
uref	1,38	%	Composição da incerteza do desvio padrão com a incerteza das calibrações
Uref	2,76	%	Incerteza expandida da referência considerando k=2

Tabela 13. Cálculo do valor de referência para o ponto de 500 L/s

Calculo do Valor de referência para 500 L/s			
Eref	-2,34	%	Média dos erros dos laboratórios
udve	1,35	%	Desvio padrão experimental da média
ucxi	1,06	%	Composição das incertezas dos laboratórios
uref	1,72	%	Composição da incerteza do desvio padrão com a incerteza das calibrações
Uref	3,43	%	Incerteza expandida da referência considerando k=2

5. ANALISE DOS RESULTADOS

Na Tabela 8 são apresentados os Erros de Medição, Elab, de cada vazão e laboratório, e suas incertezas, o Erro percentual e a incerteza de referência para cada vazões cada vazão de calibração conforme apresentados no item 7, e os valores do erro normalizado calculados conforme o item 5.9.

Tabela 8. Resultado de erro normalizado

<i>Código do Laboratório</i>	<i>Qn</i>	<i>Elab</i>	<i>Eref</i>	<i>Ulab</i>	<i>Uref</i>	<i>En</i>
-	(L/s)	(%)	(%)	(%)	(%)	adimensional
P17	150	-3,07		2,5		-0,53
P75	150	-2,30		2,3		-0,36
P34	150	0,27	-0,80	2,4	3,5	0,25
P09	150	1,90		3,3		0,56
P09	350	-3,90		2,3		-0,41
P75	350	-3,30		2,3		-0,25
P17	350	-2,38	-2,41	2,1	2,8	0,01
P34	350	-0,06		2,0		0,69
P75	500	-5,10		2,3		-0,67
P17	500	-3,37		1,9		-0,26
P09	500	-2,20	-2,34	2,0	3,4	0,04
P34	500	1,30		2,2		0,89

Na Figura 4 temos o gráfico dos Erros Normalizados calculados (adimensional), em função da Vazão nominal (%).

Fonte: Autores

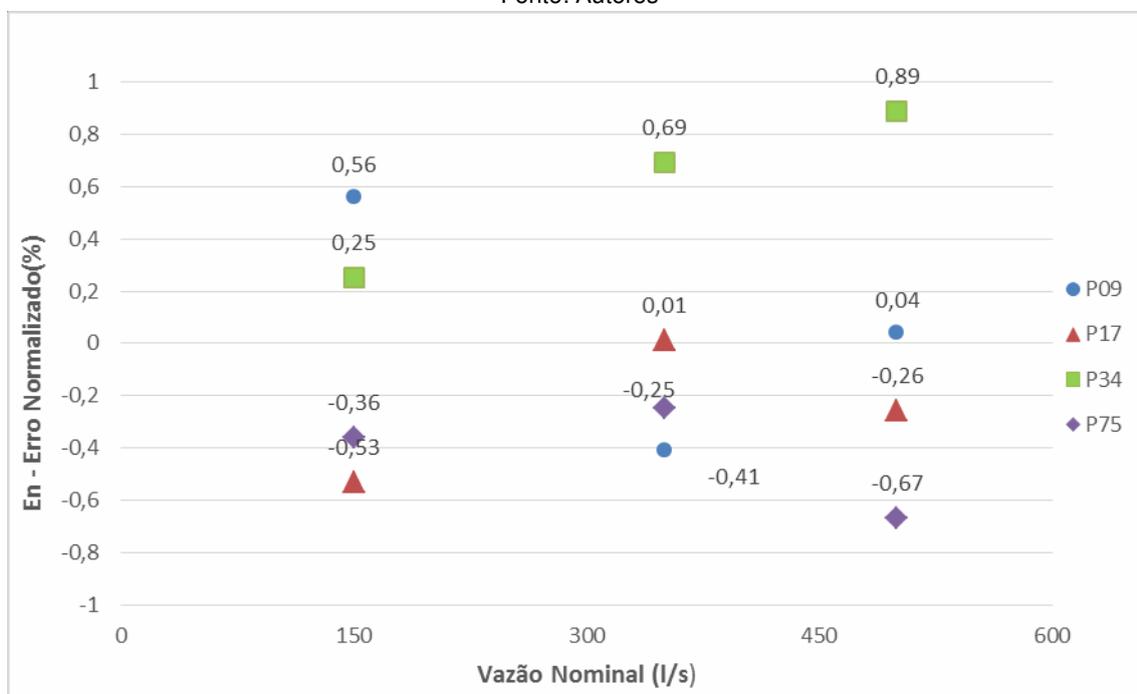


Figura 4. Gráfico dos erros normalizados.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos por cada laboratório foram considerados satisfatório onde o $EN \leq 1$. Ou seja, todos os laboratórios apresentaram condições adequadas para realizar calibrações de medidores de vazão volumétrica de água por meio da técnica de pitometria em campo.

Não foram constatados outliers mediante os resultados obtidos pelos laboratórios participantes, indicando que os dados analisados pertencem a população principal.

Embora o PI tenha sido satisfatório, há uma diferença significativa entre os resultados dos laboratórios e uma dispersão alta de resultados. Caso a comparação fosse realizada diretamente com pares de laboratórios, diversos resultados estariam com EN acima de 1. Cabe uma discussão posterior do grupo sobre esse resultado e principalmente para elaboração de outro programa.

Sugestões como a harmonização de parâmetros inerentes a execução da calibração, definidos como empíricos, no momento da calibração, como a temperatura média do fluido e outros fatores como a estabilidade dos artefatos envolvidos, antes e depois dos testes, deverão também ser avaliados posteriormente.

Para finalizar, foi observado neste PI que a técnica de pitometria em campo confirmou a eficácia do processo de medição e calibração medidores de vazão volumétrica de água, dentro das incertezas pertinentes ao processo.

10. EQUIPE TÉCNICA

- o **IPT**: Rui Gomez Teixeira de Almeida, Valmir Ruiz,, Kazuto Kawakita e Helena C. Manosso..
- o **SABESP**: Viviana M.N. de A. Borges, Olavo A. P. Sachs, Aduino Luiz de Souza da Silva e André Luiz dos Santos.
- o **COPASA**: Geraldo Marques da Costa, Valter de Souza L. Junior, Claudinei Paes e Mário Márcio Vaz de Freitas.
- o **CONAUT**: Araquem B. Pissolati Fernandes e Caio Andrade.

11. BIBLIOGRAFIA

- [1] “EAL-P7” Interlaboratory Comparisons - *European Cooperation for Accreditation of Laboratories Committee*, 2,1th Edition, March 1996.
- [2] Mikan, B., Valenmmta, T. [PTB, CMI], *Final Report – Draft B, Inter-laboratory calibration comparison of the turbine gas meter G6500 EURAMET Project No. 1006*, March 2009.
- [3] Orientações para a organização de comparações interlaboratoriais pelas comissões técnicas da DICLA-DOQ-CGCRE-005, *Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial*, Revisão 00, September 2002.
- [4] COOMET Project 219 level
- [5] ABNT NBR ISO 3966: Medição de Vazão em condutos fechados – Método velocimétrico utilizando tubos de Pitot estático
- [6] Andriotti, J.L.S. *Técnicas estatísticas aplicáveis a tratamento de informações oriundas de procedimentos laboratoriais*, CPRM, 2005.
- [7] ISO 13528 *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison*, 2015.
- [8] NIE-CGCRE-045, Operação dos comitês técnicos de assessoramento à Cgcre na acreditação de organismos de avaliação da conformidade, revisão 06, junho/2018.