



**Comissão Técnica de Vazão – CT-13 da
Coordenação Geral de Acreditação – Cgcre**

SUBCOMISSÃO TÉCNICA

3º PROGRAMA INTERLABORATORIAL EM BAIXA VAZÃO DE GÁS

RELATÓRIO FINAL

02.09.2016

1 INTRODUÇÃO

Na 18ª reunião do Comitê Técnico de Vazão CT-13, realizada em 02.04.2014, a subcomissão de comparação interlaboratorial em vazão de gás instituiu o 3º Programa Interlaboratorial em Baixa Vazão de Gás. A faixa de medição estabelecida foi de 50 cm³/min a 500 cm³/min.

Este relatório apresenta os resultados finais desse 3º PI em Baixa Vazão de Gás, cujos requisitos para sua execução foram definidos em protocolo específico [1] e em consenso com todos os participantes. Descreve os procedimentos adotados, o critério estatístico utilizado para estabelecer o valor de referência e sua incerteza, e os resultados da avaliação estatística de desempenho de cada participante, usando códigos para garantir a confidencialidade dos dados.

O Sr. Maurício Araujo Soares, representante da Divisão de Acreditação de Laboratórios do Inmetro (Dicla) na Comissão Técnica de Vazão - CT-13, acompanhou a realização desse PI.

Todos os laboratórios acreditados para este serviço de calibração na Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre) tiveram participação obrigatória.

O grupo de trabalho foi formado por representantes dos seis laboratórios relacionados na Tabela 1, sendo três acreditados pela Cgcre e três postulantes a acreditação.

Tabela 1 – Participantes (Laboratório / Instituição ou empresa)

Nome do Laboratório	Instituição / Empresa	Nº de Acreditação
Laboratório de Vazão - LV	Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT	Cal 0162
Laboratório Chrompack	CHROMPACK Instrumentos Científicos Ltda	Cal 0256
Laboratório TEX	TEX Equipamentos Eletrônicos Ltda	Cal 0409
Laboratório GERO	Gero Comércio e Serviços Ltda	Postulante a acreditação
Laboratório X-Cal	X-Cal Calibrações e Ensaios	Postulante a acreditação
Laboratório Vazão de Gás - LVG	Centro de Inovação e Tecnologia SENAI FIEMG – Campus CETEC	Postulante a acreditação

2 COORDENAÇÃO

A coordenação deste programa foi conduzida pelo Centro de Inovação e Tecnologia SENAI FIEMG – Campus CETEC, sob a responsabilidade de Ramon Zeferino. Os ensaios de verificação de estabilidade e as calibrações inicial e final do padrão itinerante foram realizados no Laboratório Vazão de Gás da Gerência de Metrologia dessa instituição.

3 PADRÃO ITINERANTE

O padrão itinerante utilizado foi um medidor de vazão instantânea do tipo mássico térmico, disponibilizado pela empresa TEX. A tabela 2 mostra suas principais características.

Tabela 2 – Características do medidor utilizado como padrão itinerante

Tipo do Medidor	Fabricante Modelo	Q_{\min} (cm ³ /min)	Q_{\max} (cm ³ /min)	Diâmetro (mm)	Conexão	Pressão Máxima
Mássico Térmico	TEX MF-700-502-0000	50	500	8	SMC 8mm	1MPa

4 CIRCULAÇÃO DO PADRÃO ITINERANTE

A circulação em “roda” foi adotada para este programa. A ordem em que a circulação foi realizada é apresentada no Fig. 1.

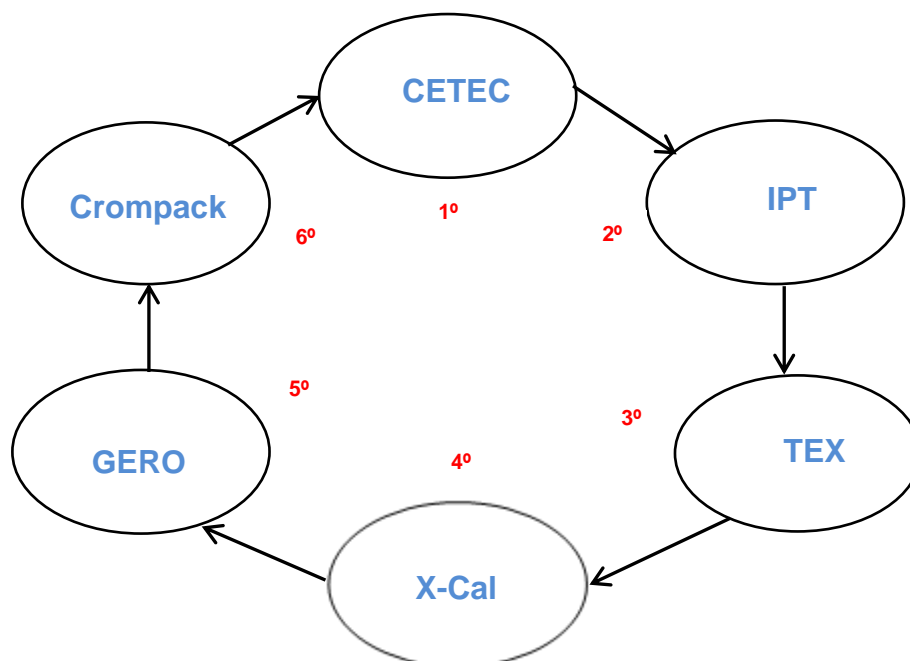


Fig. 1 – Ordem da circulação do padrão itinerante

4.1 Acondicionamento e transporte

O padrão itinerante foi embalado na caixa fornecida pelo fabricante, confeccionada de modo que este não se movimentasse no interior da caixa.

Cada participante se encarregou de enviar o padrão itinerante para o laboratório posterior, conforme a ordem de circulação apresentada na Fig. 1 e foi responsável por suas próprias despesas.

Além disso, os participantes comprometeram-se quanto ao ressarcimento das despesas necessárias ou à reposição do padrão itinerante, caso danificado, desde que não identificado o responsável.

4.2 Confidencialidade dos resultados

Para assegurar a confidencialidade dos resultados, o Sr. Mauricio criou uma codificação específica para este PI. Cada um dos seis laboratórios participantes recebeu um dos códigos - LAB 1, LAB 2, LAB 3, LAB 4, LAB 5 e LAB 6 - distribuídos aleatoriamente entre os seis participantes, sem qualquer relação com a ordem da roda de circulação. Assim, cada laboratório enviou seus resultados para o Sr. Maurício, em uma planilha padronizada (apresentada em 9.1) identificada apenas pelo seu código.

Após a conclusão das medições, o Sr. Maurício enviou o conjunto das planilhas de resultados para todos os participantes.

Portanto, os valores e análises apresentados neste documento estão relacionados aos códigos, sem identificar à qual participante cada código está associado.

5 CRONOGRAMA

A calibração inicial do padrão itinerante foi realizada pelo laboratório coordenador no mês de maio de 2015.

A roda de circulação do padrão foi iniciada em julho de 2015, conforme previsto no cronograma do protocolo deste PI.

O padrão itinerante retornou ao laboratório coordenador em março de 2016, quando foi realizada a sua calibração final.

Assim, o período de circulação do padrão foi de 8 meses, o que representou uma extensão de três meses no cronograma.

6 PROCEDIMENTO DESTE INTERLABORATORIAL - ACORDADO ENTRE OS PARTICIPANTES DO GRUPO DE TRABALHO

6.1 Condicionamento do fluxo

O tipo de medidor utilizado como padrão itinerante não exige trechos de condicionamento. Os laboratórios participantes ficaram, portanto, livres para utilizá-lo se o seu procedimento assim o exigisse.

6.2 Fluido de Calibração

O fluido de calibração utilizado foi o gás nitrogênio N_2 de alta pureza.

6.3 Vazões de calibração

Quanto às vazões de calibração e procedimentos para sua medição ficou definido que:

- a) a calibração do padrão itinerante seria realizada em nove pontos da sua faixa de medição, expressos em porcentagem da vazão máxima:
10% (50cm³/min), 20% (100cm³/min), 30% (150cm³/min), 40% (200cm³/min), 50% (250cm³/min), 60% (300cm³/min), 70% (350cm³/min), 80% (400cm³/min) e 100% (500cm³/min);
- b) o valor do mensurando em cada vazão calibrada seria obtido a partir da média de três observações independentes;
- c) a vazão ajustada na calibração seria aquela indicada no display do padrão itinerante para as condições de referência de 21°C e 101,3 kPa;
- d) o valor médio da vazão ajustada não deveria diferir de mais de 2% (para mais ou para menos) das vazões nominais propostas;
- e) as calibrações deveriam ser realizadas mantendo-se a temperatura do ambiente dentro da faixa de 21 °C a 24 °C.

6.4 Mensurando

O mensurando ou parâmetro de comparação utilizado foi o “erro de medição”, definido pela equação:

$$E(\%) = \frac{Q_{medidor} - Q_{Lab}}{Q_{lab}} * 100 \quad (1)$$

Onde :

- E = Erro de medição relativo (%)
 $Q_{medidor}$ = Vazão indicada pelo medidor padrão itinerante
 Q_{Lab} = Vazão de referência do laboratório participante

7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Conforme definido no protocolo, na análise estatística dos resultados o “Procedimento A” proposto por COX [2] seria utilizado, desde que, no mínimo 4 (quatro) laboratórios não apresentassem valores discrepantes. Caso este limite mínimo não fosse obtido, seria adotado o “Procedimento B” também proposto pelo autor.

Considerando que não ocorreu nenhum caso de valor discrepante, este 3º PI em Baixa Vazão de Gás pôde ser integralmente avaliado aplicando-se a metodologia do “Procedimento A” do COX, como será demonstrado a seguir.

7.1 Valor de referência

O Valor de Referência VR é uma estimativa do mensurando, calculado pela média ponderada dos erros obtidos por cada participante, onde os pesos são os recíprocos dos quadrados das respectivas incertezas, de acordo com a equação (2):

$$VR = \frac{\sum \frac{E_i}{u^2(E_i)}}{\sum \frac{1}{u^2(E_i)}} \quad (2)$$

Onde:

- $E_i =$ Erro de medição relativo (E , definido em 6.4) obtido em cada Laboratório “ i ” para a mesma vazão calibrada.
- $u(E_i) =$ Incerteza-padrão de medição declarada por cada laboratório “ i ” para uma mesma vazão calibrada, acrescentada da incerteza resultante da estabilidade do padrão itinerante.

7.2 Incerteza-padrão de VR

A incerteza-padrão do valor de referência $u(VR)$ é calculada combinando as incertezas-padrão $u(E_i)$ obtidas em cada laboratório “ i ” para a mesma vazão calibrada, por meio da seguinte equação:

$$\frac{1}{u^2(VR)} = \sum \frac{1}{u^2(E_i)} \quad (3)$$

7.3 Validação dos dados

A análise de consistência dos resultados de cada participante foi realizada aplicando-se o teste do qui-quadrado:

$$Pr\{\chi^2(v) > \chi^2_{obs}\} < 0,05$$

Sendo

$$\chi^2(v) = \chi^2(N - 1) = \chi^2(6 - 1) = 11,0705$$

$$\chi^2_{obs} = \sum_{i=1}^6 \frac{(E_i - VR)^2}{u^2(E_i)} \quad (4)$$

Não foram identificados resultados inconsistentes neste PI. Todos os dados fornecidos foram empregados na análise estatística realizada.

7.4 Grau de equivalência

Para o cálculo estatístico de desempenho dos participantes foi utilizado o grau de equivalência E_n definido pela equação (5). Valores absolutos de E_n iguais ou menores que a unidade, ($|E_n| \leq 1$), indicam desempenho satisfatório.

$$E_n = \frac{|E_i - VR|}{\sqrt{|U^2 E_i - U^2 VR|}} \leq 1 \quad (5)$$

Onde:

- E_i = Erro de medição relativo (E , definido em 6.4) obtido em cada Laboratório “ i ” para a mesma vazão calibrada.
- VR = Valor de referência (definido em 8) determinado pela média ponderada dos erros obtidos em cada Laboratório “ i ” para a mesma vazão calibrada.
- UE_i = Incerteza de medição expandida declarada por cada laboratório “ i ” para a mesma vazão calibrada, acrescentada da incerteza resultante da estabilidade do padrão itinerante.
- UVR = Incerteza de medição expandida do valor de referência calculada com base nas incertezas expandidas dos laboratórios participantes para a mesma vazão calibrada (ver item 4)

De acordo com a abordagem de COX [2] o grau de equivalência de um participante é definido por dois componentes (d_i , $U(d_i)$) onde:

$$d_i = (E_i - VR) \quad (10)$$

$$U(d_i) = 2u(d_i) \quad (11)$$

$$u(d_i) = \sqrt{u^2 E_i - u^2 VR} \quad (12)$$

Substituindo na equação 5:

$$E_n = \left| \frac{d_i}{2 u(d_i)} \right| \leq 1 \quad (13)$$

8 RESULTADOS

8.1 Forma de apresentação dos resultados

Cada participante apresentou os seus resultados, obtidos na calibração do padrão itinerante, conforme a planilha padronizada apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Planilha de apresentação dos Resultados

Código do laboratório participante:					
Padrão Itinerante					
	Fabricante	Modelo	Faixa de vazão	Diâmetro nominal	Número de série
	TEX Equipamento Eletrônicos	MF-700-502-0000	50 cm ³ /min - 500 cm ³ /min	8 mm	121101020
Vazão	Erro	s(x)	Número de leituras de calibração	Incerteza expandida	Fator de abrangência
(cm³/min)	(%)	(%)		(%)	(P, 95,45%)
50					
100					
150					
200					
250					
300					
350					
400					
500					
s(x) Desvio padrão experimental da média.					
Nota: O padrão itinerante TEX MF-700 é um medidor mássico térmico e sua leitura é fornecida para uma vazão normalizada nas condições de referência de 21°C e 101,315 kPa.					
Dificuldades ou anormalidades observadas durante a calibração:					
Desvios do procedimento estabelecido para a comparação e justificativas do laboratório:					

8.2 Resultados apresentadas pelos participantes (planilhas padronizadas)

A seguir é apresentado o conjunto de planilhas com os resultados das medições dos seis laboratórios participantes, identificadas apenas por códigos.

Código do laboratório participante:		LAB 1			
Padrão Itinerante					
	Fabricante	Modelo	Faixa de vazão	Diâmetro nominal	Número de série
	TEX Equipamento Eletrônicos	MF-700-502-0000	50 cm ³ /min - 500 cm ³ /min	8 mm	121101020
Vazão	Erro	s(x)	Número de leituras de calibração	Incerteza expandida	Fator de abrangência
(m³/h)	(%)	(%)		(%)	(P, 95,45%)
50	-0,98	0,211660	3 leituras	0,48	2,23
100	-0,94	0,100000	3 leituras	0,51	2,03
150	-1,57	0,101835	3 leituras	0,49	2,03
200	-1,40	0,160711	3 leituras	0,47	2,13
250	-1,23	0,189025	3 leituras	0,48	2,17
300	-0,93	0,171048	3 leituras	0,46	2,11
350	-0,98	0,135019	3 leituras	0,51	2,05
400	-0,59	0,108970	3 leituras	0,50	2,02
500	0,31	0,023094	3 leituras	0,51	2,01

Código do laboratório participante: 2

Padrão Itinerante				
Fabricante	Modelo	Faixa de vazão	Diâmetro nominal	Número de série
TEX Equipamento Eletrônicos	MF-700-502-0000	50 cm ³ /min - 500 cm ³ /min	8 mm	121101020

Vazão	Erro	s(x)	Número de leituras de calibração	Incerteza expandida	Fator de abrangência
(m ³ /h)	(%)	(%)		(%)	(P, 95,45%)
50	-1,02	0,0291	3,00	0,25	2,00
100	-0,82	0,0175	3,00	0,25	2,00
150	-1,40	0,0471	3,00	0,25	2,00
200	-1,35	0,0296	3,00	0,25	2,00
250	-1,34	0,0242	3,00	0,25	2,00
300	-0,76	0,0227	3,00	0,25	2,00
350	-0,77	0,0147	3,00	0,25	2,00
400	-0,59	0,0210	3,00	0,25	2,00
500	-0,22	0,0207	3,00	0,25	2,00

Código do laboratório participante: LAB 3

Padrão Itinerante				
Fabricante	Modelo	Faixa de vazão	Diâmetro nominal	Número de série
TEX Equipamento Eletrônicos	MF-700-502-0000	50 cm ³ /min - 500 cm ³ /min	8 mm	121101020

Vazão	Erro	s(x)	Número de leituras de calibração	Incerteza expandida	Fator de abrangência
(cm ³ /min)	(%)	(%)		(%)	(P, 95,45%)
50	-0,95	0,19	3,00	1,26	2,00
100	-0,60	0,09	3,00	1,29	2,00
150	-1,14	0,05	3,00	1,25	2,00
200	-1,06	0,25	3,00	1,28	2,00
250	-1,23	0,06	3,00	1,26	2,00
300	-0,51	0,21	3,00	1,26	2,00
350	-0,69	0,12	3,00	1,25	2,00
400	-0,42	0,30	3,00	1,29	2,01
500	0,04	0,28	3,00	1,28	2,01

Código do laboratório participante: LAB 4

Padrão Itinerante				
Fabricante	Modelo	Faixa de vazão	Diâmetro nominal	Número de série
TEX Equipamento Eletrônicos	MF-700-502-0000	50 cm ³ /min - 500 cm ³ /min	8 mm	121101020

Vazão	Erro	s(x)	Número de leituras de calibração	Incerteza expandida	Fator de abrangência
(cm ³ /h)	(%)	(%)		(%)	(P, 95,45%)
50	0,30	0,039	4	1,80	2,00
100	0,00	0,065	4	1,80	2,00
150	-0,56	0,076	4	1,80	2,00
200	-0,75	0,098	4	1,80	2,00
250	-1,47	0,079	4	1,80	2,00
300	-0,34	0,021	4	1,80	2,00
350	-0,51	0,049	4	1,80	2,00
400	-0,47	0,023	4	1,80	2,00
500	-0,17	0,030	4	1,80	2,00

RELATÓRIO FINAL – 3ºPI BAIXA VAZÃO DE GÁS

Código do laboratório participante: LAB5

Padrão Itinerante					
Fabricante	Modelo	Faixa de vazão	Diâmetro nominal	Número de série	
TEX Equipamento Eletrônicos	MF-700-502-0000	50 cm ³ /min - 500 cm ³ /min	8 mm	121101020	
Vazão	Erro	s(x)	Número de leituras de calibração	Incerteza expandida	Fator de abrangência
(m ³ /h)	(%)	(%)		(%)	(P, 95,45%)
50	0,21%	0,29	3,00	3,40	2,00
100	-0,29%	0,12	3,00	2,40	2,00
150	-1,26%	0,10	3,00	2,40	2,00
200	-0,61%	0,23	3,00	2,40	2,00
250	-0,84%	0,22	3,00	2,40	2,00
300	-0,38%	0,15	3,00	2,40	2,00
350	-0,56%	0,15	3,00	2,40	2,00
400	-0,49%	0,11	3,00	2,40	2,00
500	-0,21%	0,07	3,00	2,40	2,00

Código do laboratório participante: LAB 6

Padrão Itinerante					
Fabricante	Modelo	Faixa de vazão	Diâmetro nominal	Número de série	
TEX Equipamento Eletrônicos	MF-700-502-0000	50 cm ³ /min - 500 cm ³ /min	8 mm	121101020	
Vazão	Erro	s(x)	Número de leituras de calibração	Incerteza expandida	Fator de abrangência
(m ³ /h)	(%)	(%)		(%)	(P, 95,45%)
50	-0,92	0,176383	3 leituras	0,52	2,11
100	-0,92	0,057735	3 leituras	0,50	2,02
150	-1,55	0,076980	3 leituras	0,51	2,05
200	-1,35	0,033333	3 leituras	0,51	2,05
250	-1,27	0,061101	3 leituras	0,50	2,02
300	-0,96	0,038490	3 leituras	0,53	2,11
350	-1,01	0,043644	3 leituras	0,52	2,02
400	-0,61	0,038188	3 leituras	0,51	2,05
500	0,29	0,046667	3 leituras	0,50	2,13

8.3 Estabilidade do padrão

O padrão itinerante foi calibrado pelo laboratório coordenador no início e no final da roda de circulação para avaliar a sua estabilidade. Os resultados das diferenças dos erros entre as calibrações inicial e final realizadas são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Diferença dos erros obtidos entre a segunda (março 2016) e a primeira calibração (maio 2015)

Vazão	Diferença entre os erros
(cm ³ /min)	(%)
50	-0,05
100	0,02
150	0,16
200	0,21
250	0,19
300	0,21
350	0,21
400	0,24
500	0,34

A incerteza-padrão relativa ao parâmetro estabilidade (reprodutibilidade) foi, então, estimada, considerando a maior diferença entre os resultados apresentados na Tabela 4 (0,34 %) e uma distribuição de probabilidade retangular, ou seja:

$$u_{rep} = \frac{0,34}{\sqrt{12}} = 0,098 \% \quad (7)$$

Em consequência, a incerteza resultante da estabilidade do padrão itinerante foi adicionada às incertezas declaradas pelo laboratório “I”, para cada vazão calibrada, com base na seguinte equação:

$$u(E_i) = \sqrt{\left(\frac{U(E_{LABi})}{K_{LABi}}\right)^2 + u_{rep}^2} \quad (8)$$

$$U(E_i) = u(E_i) \times K_{LABi} \quad (9)$$

Onde

- $U(E_{LABi})$: incerteza expandida declarada pelo laboratório “I” para cada vazão calibrada
- K_{LABi} : fator de abrangência declarado pelo laboratório “I” para cada vazão calibrada
- u_{rep} : incerteza padrão estimada para a estabilidade do padrão itinerante
- $u(E_i)$: incerteza padrão declarada pelo laboratório “I” acrescentada da incerteza resultante da estabilidade do padrão itinerante
- $U(E_i)$: incerteza expandida declarada pelo laboratório “I” acrescentada da incerteza resultante da estabilidade do padrão itinerante

8.4 Planilhas com os resultados dos participantes acrescidas dos parâmetros obtidos com a inclusão da incerteza resultante da estabilidade do padrão itinerante

Código do laboratório participante:				LAB 1				
Vazão	Erro E_1	$s(E_1)$	Incerteza expandida do lab $U(E_1)_{LAB1}$	Fator de abrangência K_{LAB1}	Incerteza padrão do lab $u(E_1)_{LAB1}$	Incerteza padrão estabilidade u_{rep}	Incerteza padrão resultante $u(E_1)$	Incerteza expandida resultante $U(E_1)$
(cm ³ /min)	(%)	(%)	(%)	(P, 95,45%)	(%)	(%)	(%)	(%)
50	-0,98	0,211660	0,48	2,23	0,22	0,098	0,24	0,53
100	-0,94	0,100000	0,51	2,03	0,25	0,098	0,27	0,55
150	-1,57	0,101835	0,49	2,03	0,24	0,098	0,26	0,53
200	-1,40	0,160711	0,47	2,13	0,22	0,098	0,24	0,51
250	-1,23	0,189025	0,48	2,17	0,22	0,098	0,24	0,53
300	-0,93	0,171048	0,46	2,11	0,22	0,098	0,24	0,50
350	-0,98	0,135019	0,51	2,05	0,25	0,098	0,27	0,55
400	-0,59	0,108970	0,50	2,02	0,25	0,098	0,27	0,54
500	0,31	0,023094	0,51	2,01	0,25	0,098	0,27	0,55

Código do laboratório participante:				LAB 2				
Vazão	Erro E_2	$s(E_2)$	Incerteza expandida do lab $U(E_2)_{LAB2}$	Fator de abrangência K_{LAB2}	Incerteza padrão do lab $u(E_2)_{LAB2}$	Incerteza padrão estabilidade u_{rep}	Incerteza padrão resultante $u(E_2)$	Incerteza expandida resultante $U(E_2)$
(cm ³ /min)	(%)	(%)	(%)	(P, 95,45%)	(%)	(%)	(%)	(%)
50	-1,02	0,029058	0,25	2,00	0,13	0,098	0,16	0,32
100	-0,82	0,017479	0,25	2,00	0,13	0,098	0,16	0,32
150	-1,40	0,047060	0,25	2,00	0,13	0,098	0,16	0,32
200	-1,35	0,029565	0,25	2,00	0,13	0,098	0,16	0,32
250	-1,34	0,024225	0,25	2,00	0,13	0,098	0,16	0,32
300	-0,76	0,022659	0,25	2,00	0,13	0,098	0,16	0,32
350	-0,77	0,014657	0,25	2,00	0,13	0,098	0,16	0,32
400	-0,59	0,021004	0,25	2,00	0,13	0,098	0,16	0,32
500	-0,22	0,020705	0,25	2,00	0,13	0,098	0,16	0,32

Código do laboratório participante:				LAB 3				
Vazão	Erro E_3	$s(E_3)$	Incerteza expandida do lab $U(E_3)_{LAB3}$	Fator de abrangência K_{LAB3}	Incerteza padrão do lab $u(E_3)_{LAB3}$	Incerteza padrão estabilidade u_{rep}	Incerteza padrão resultante $u(E_3)$	Incerteza expandida resultante $U(E_3)$
(cm ³ /min)	(%)	(%)	(%)	(P, 95,45%)	(%)	(%)	(%)	(%)
50	-0,95	0,189361	1,26	2,00	0,63	0,098	0,64	1,28
100	-0,60	0,089732	1,29	2,00	0,64	0,098	0,65	1,30
150	-1,14	0,048964	1,25	2,00	0,62	0,098	0,63	1,26
200	-1,06	0,249883	1,28	2,00	0,64	0,098	0,65	1,30
250	-1,23	0,058832	1,26	2,00	0,63	0,098	0,64	1,28
300	-0,51	0,208980	1,26	2,00	0,63	0,098	0,64	1,27
350	-0,69	0,119332	1,25	2,00	0,62	0,098	0,63	1,26
400	-0,42	0,303085	1,29	2,01	0,64	0,098	0,65	1,30
500	0,04	0,281389	1,28	2,01	0,64	0,098	0,64	1,29

Código do laboratório participante:				LAB 4				
Vazão	Erro E4	s(E4)	Incerteza expandida do lab U(E4)LAB4	Fator de abrangência KLAB4	Incerteza padrão do lab u(E4)LAB4	Incerteza padrão estabilidade u_{rep}	Incerteza padrão resultante u(E4)	Incerteza expandida resultante U(E4)
(cm ³ /min)	(%)	(%)	(%)	(P, 95,45%)	(%)	(%)	(%)	(%)
50	0,30	0,039485	1,80	2,00	0,90	0,098	0,91	1,81
100	0,00	0,065182	1,80	2,00	0,90	0,098	0,91	1,81
150	-0,56	0,076340	1,80	2,00	0,90	0,098	0,91	1,81
200	-0,75	0,098144	1,80	2,00	0,90	0,098	0,91	1,81
250	-1,47	0,078619	1,80	2,00	0,90	0,098	0,91	1,81
300	-0,34	0,020583	1,80	2,00	0,90	0,098	0,91	1,81
350	-0,51	0,048891	1,80	2,00	0,90	0,098	0,91	1,81
400	-0,47	0,022517	1,80	2,00	0,90	0,098	0,91	1,81
500	-0,17	0,029819	1,80	2,00	0,90	0,098	0,91	1,81

Código do laboratório participante:				LAB 5				
Vazão	Erro E5	s(E5)	Incerteza expandida do lab U(E5)LAB5	Fator de abrangência KLAB5	Incerteza padrão do lab u(E5)LAB5	Incerteza padrão estabilidade u_{rep}	Incerteza padrão resultante u(E5)	Incerteza expandida resultante U(E5)
(cm ³ /min)	(%)	(%)	(%)	(P, 95,45%)	(%)	(%)	(%)	(%)
50	0,21	0,290000	3,40	2,00	1,70	0,098	1,70	3,41
100	-0,29	0,120000	2,40	2,00	1,20	0,098	1,20	2,41
150	-1,26	0,100000	2,40	2,00	1,20	0,098	1,20	2,41
200	-0,61	0,230000	2,40	2,00	1,20	0,098	1,20	2,41
250	-0,84	0,220000	2,40	2,00	1,20	0,098	1,20	2,41
300	-0,38	0,150000	2,40	2,00	1,20	0,098	1,20	2,41
350	-0,56	0,150000	2,40	2,00	1,20	0,098	1,20	2,41
400	-0,49	0,110000	2,40	2,00	1,20	0,098	1,20	2,41
500	-0,21	0,070000	2,40	2,00	1,20	0,098	1,20	2,41

Código do laboratório participante:				LAB 6				
Vazão	Erro E6	s(E6)	Incerteza expandida do lab U(E6)LAB6	Fator de abrangência KLAB6	Incerteza padrão do lab u(E6)LAB6	Incerteza padrão estabilidade u_{rep}	Incerteza padrão resultante u(E6)	Incerteza expandida resultante U(E6)
(cm ³ /min)	(%)	(%)	(%)	(P, 95,45%)	(%)	(%)	(%)	(%)
50	-0,92	0,176383	0,52	2,11	0,25	0,098	0,27	0,56
100	-0,92	0,057735	0,50	2,02	0,25	0,098	0,27	0,54
150	-1,55	0,076980	0,51	2,05	0,25	0,098	0,27	0,55
200	-1,35	0,033333	0,51	2,05	0,25	0,098	0,27	0,54
250	-1,27	0,061101	0,50	2,02	0,25	0,098	0,27	0,54
300	-0,96	0,038490	0,53	2,11	0,25	0,098	0,27	0,57
350	-1,01	0,043644	0,52	2,02	0,26	0,098	0,27	0,55
400	-0,61	0,038188	0,51	2,05	0,25	0,098	0,27	0,55
500	0,29	0,046667	0,50	2,13	0,23	0,098	0,25	0,54

8.5 Valor de referência e exame de consistência

Na Tabela 5 são apresentados os Valores de Referência VR obtidos para cada vazão calibrada, com base no Procedimento A do COX e a partir dos dados fornecidos nas planilhas apresentadas em 8.4. Com base nesses valores de referência foram realizados os exames de consistência utilizando o método do qui-quadrado. Como pode ser observado na Tabela 5 os resultados apresentados pelos participantes foram aprovados nos testes de consistência em todas as vazões calibradas.

Tabela 5 – Valor de Referência e Exame de consistência

Vazão cm^3/min	VR	Incerteza padrão de VR $u(VR)$	χ^2_{obs}	χ_v^2	Consistência dos resultados $\Pr \{ \chi_v^2 > \chi^2_{obs} \} < 0,05$
50	-0,96393	0,11495	2,601272	11,0705	OK
100	-0,83438	0,11809	1,445679	11,0705	OK
150	-1,43981	0,11714	1,667646	11,0705	OK
200	-1,33698	0,11528	1,050132	11,0705	OK
250	-1,2941	0,11537	0,337879	11,0705	OK
300	-0,81618	0,11519	1,287241	11,0705	OK
350	-0,8444	0,11844	1,118075	11,0705	OK
400	-0,58702	0,11788	0,096499	11,0705	OK
500	-0,00288	0,11714	4,545059	11,0705	OK

O gráfico da Fig. 2 mostra os valores dos erros de medição encontrados pelos seis participantes nas vazões calibradas em comparação com o respectivo valor de referência.

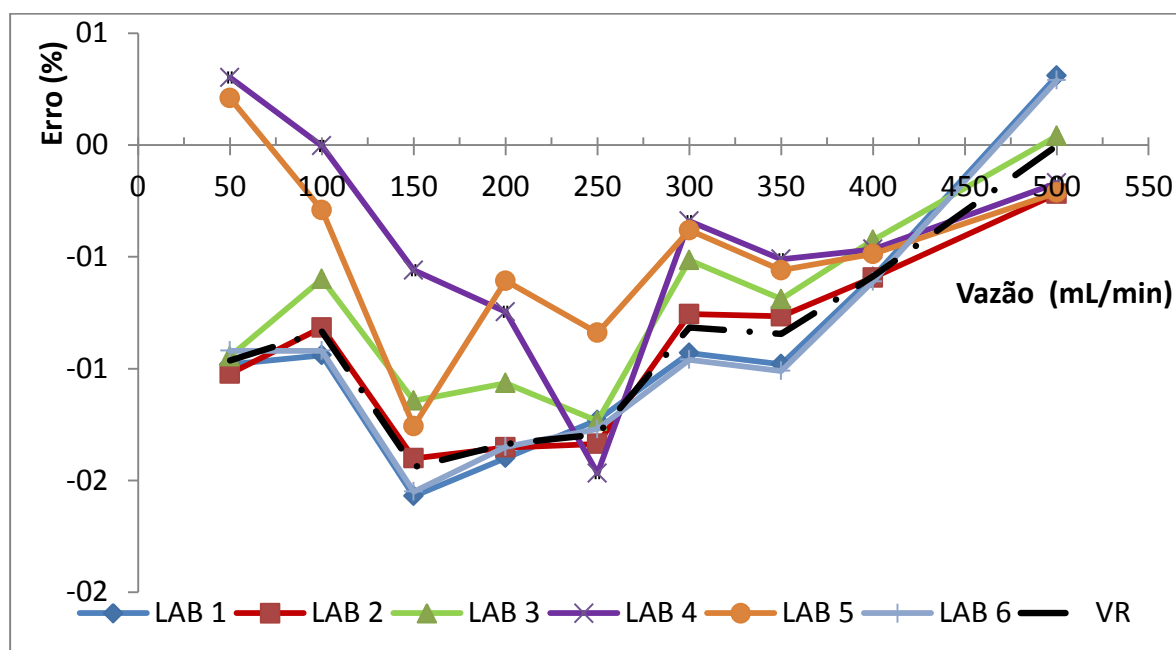


Fig. 2 – Erros de medição e valores de referência

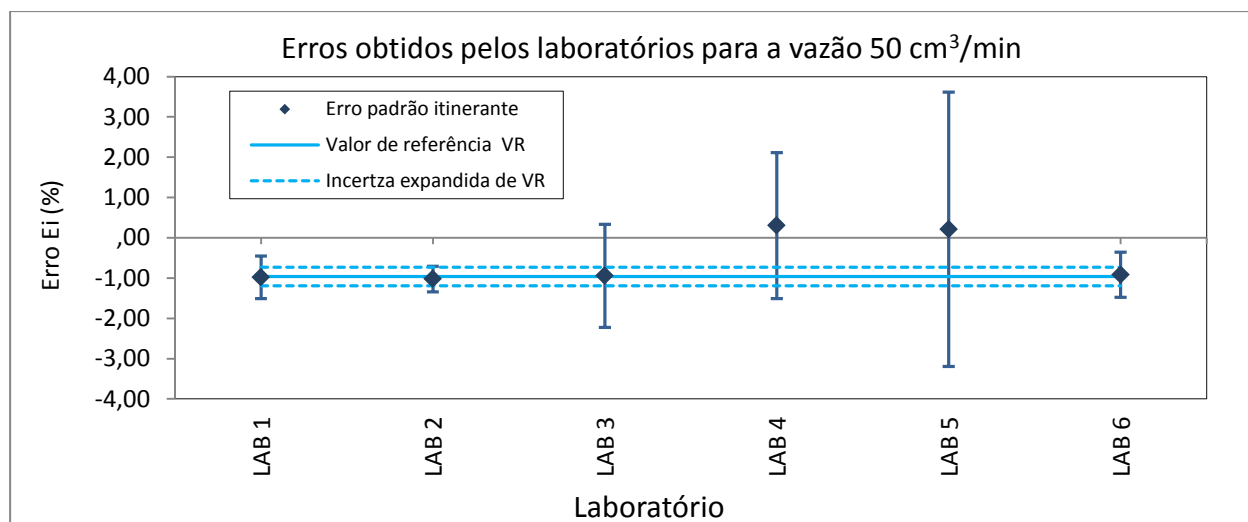
Nas Tabelas de 6 a 14 os resultados obtidos em 8.4 estão agrupados por vazão. As Figuras de 3 a 11 apresentam para cada vazão calibrada, os gráficos dos erros de medição, com suas respectivas barras de incerteza expandida, obtidos por cada participante e os valores de referência delimitados pelas respectivas incertezas expandidas.

a) Vazão de $50 \text{ cm}^3/\text{min}$

Tabela 6 – Resultados das medições ($50 \text{ cm}^3/\text{min}$)

Laboratório participante Código	Erro E_i %	Incerteza padrão $u(E_i)$ %	Fator de abrangência K_{LABi} %	Incerteza expandida $U(E_i)$ %
LAB 1	-0,98	0,24	2,23	0,53
LAB 2	-1,02	0,16	2,00	0,32
LAB 3	-0,95	0,64	2,00	1,28
LAB 4	0,30	0,91	2,00	1,81
LAB 5	0,21	1,70	2,00	3,41
LAB 6	-0,92	0,27	2,11	0,56

Fig. 3 – Gráfico dos erros em relação à VR ($50 \text{ cm}^3/\text{min}$)
 $VR = -0,96$ $U(VR) = 0,23$

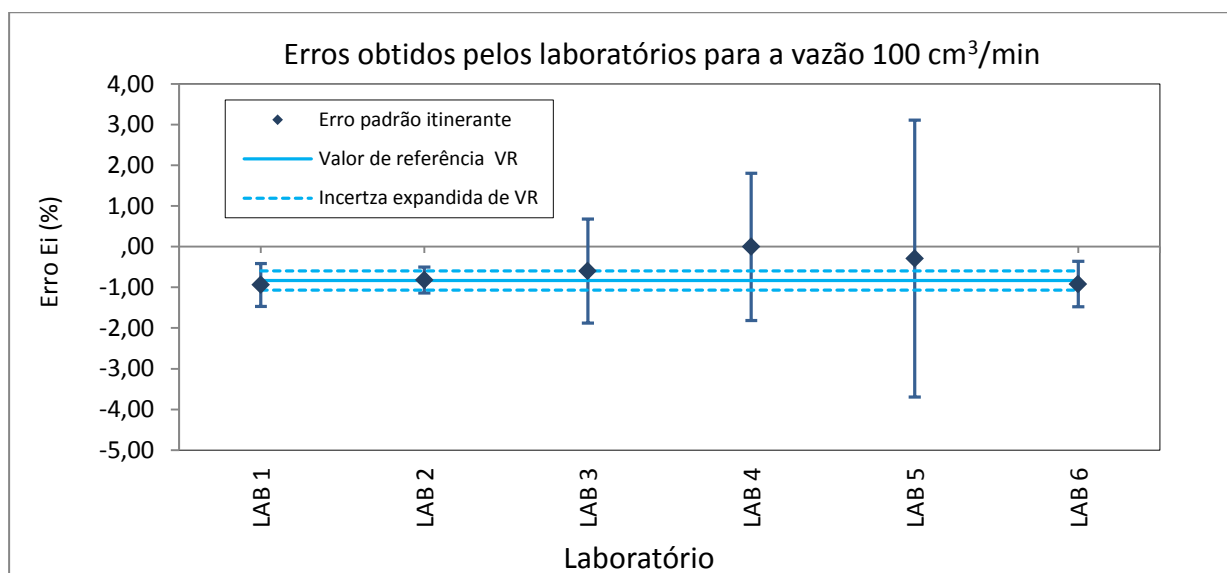


b) Vazão de 100 cm³/min

Tabela 7 – Resultados das medições (100 cm³/min)

Laboratório participante	Erro E _i	Incerteza padrão u(E _i)	Fator de abrangência K _{LABi}	Incerteza expandida U(E _i)
Código	%	%	%	%
LAB 1	-0,94	0,27	2,03	0,55
LAB 2	-0,82	0,16	2,00	0,32
LAB 3	-0,60	0,65	2,00	1,30
LAB 4	0,00	0,91	2,00	1,81
LAB 5	-0,29	1,20	2,00	2,41
LAB 6	-0,92	0,27	2,02	0,54

Fig. 4 – Gráfico dos erros em relação à VR (100 cm³/min)
 VR = - 0,83 U(VR) = 0,24

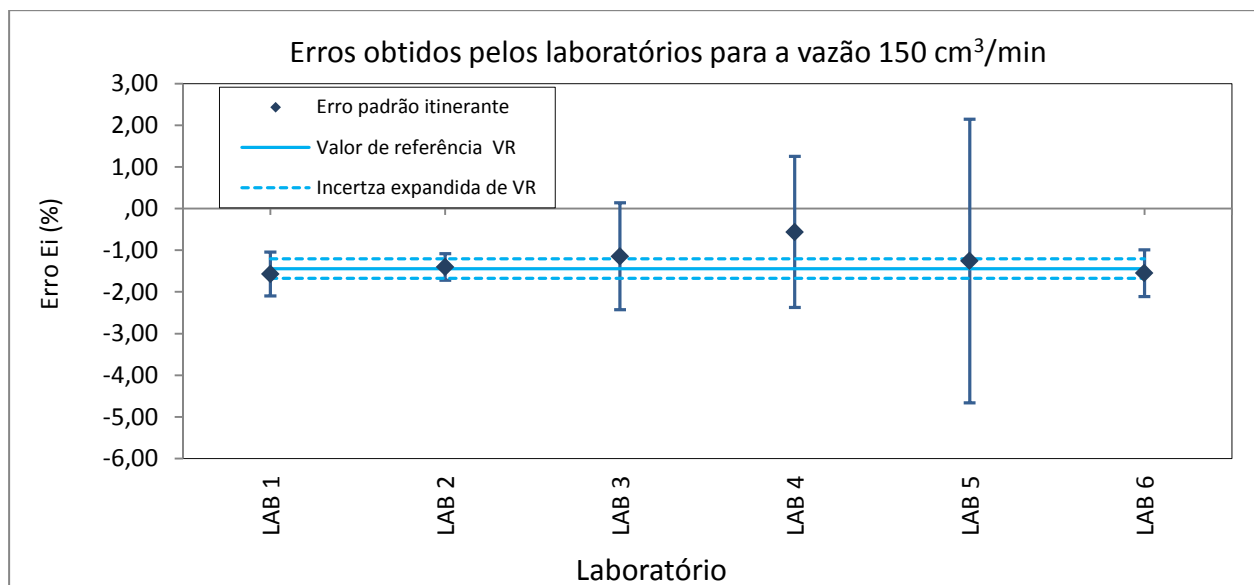


c) Vazão de 150 cm³/min

Tabela 8 – Resultados das medições (150 cm³/min)

Laboratório participante	Erro E _i	Incerteza padrão u(E _i)	Fator de abrangência K _{LAB1}	Incerteza expandida U(E _i)
Código	%	%	%	%
LAB 1	-1,57	0,26	2,03	0,53
LAB 2	-1,40	0,16	2,00	0,32
LAB 3	-1,14	0,63	2,00	1,26
LAB 4	-0,56	0,91	2,00	1,81
LAB 5	-1,26	1,20	2,00	2,41
LAB 6	-1,55	0,27	2,05	0,55

Fig. 5 – Gráfico dos erros em relação à VR (150 cm³/min)
 $VR = - 1,44 \quad U(VR) = 0,23$

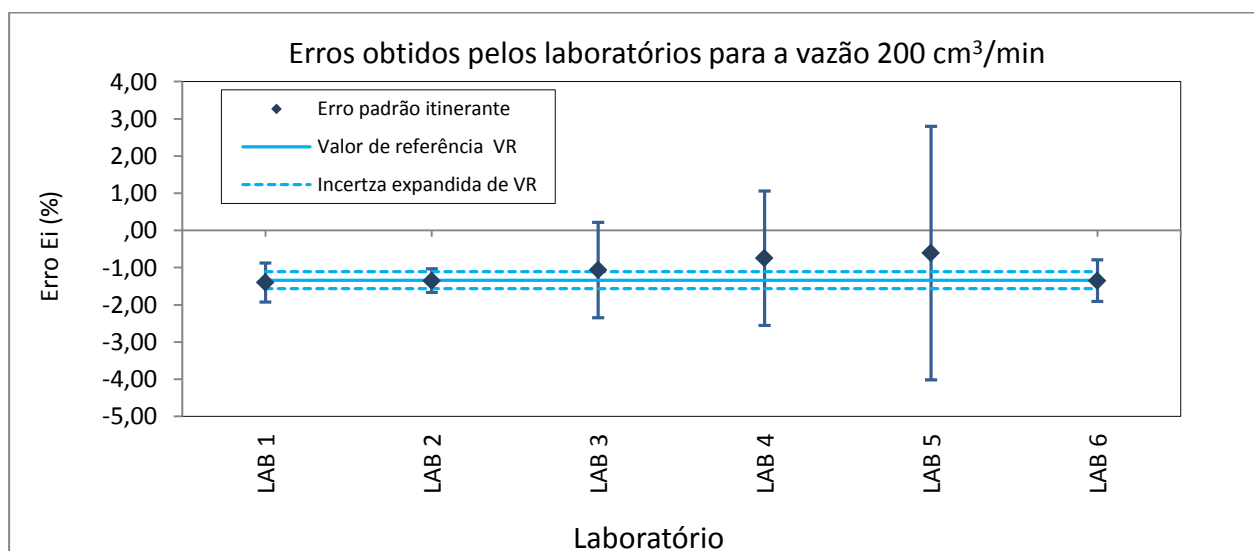


d) Vazão de 200 cm³/min

Tabela 9 – Resultados das medições (200 cm³/min)

Laboratório participante	Erro E _i	Incerteza padrão u(E _i)	Fator de abrangência K _{LAB1}	Incerteza expandida U(E _i)
Código	%	%	%	%
LAB 1	-1,40	0,24	2,13	0,51
LAB 2	-1,35	0,16	2,00	0,32
LAB 3	-1,06	0,65	2,00	1,30
LAB 4	-0,75	0,91	2,00	1,81
LAB 5	-0,61	1,20	2,00	2,41
LAB 6	-1,35	0,27	2,05	0,54

Fig. 6 – Gráfico dos erros em relação à VR (200 cm³/min)
 $VR = - 1,34 \quad U(VR) = 0,23$

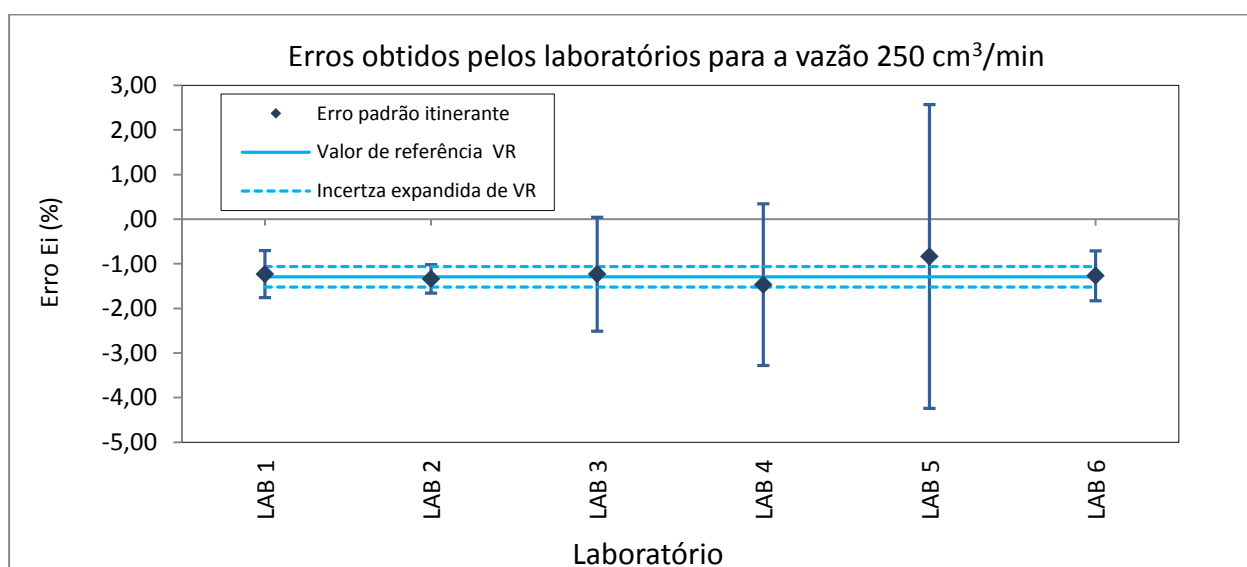


e) Vazão de 250 cm³/min

Tabela 10 – Resultados das medições (250 cm³/min)

Laboratório participante Código	Erro E _i %	Incerteza padrão u(E ₁) %	Fator de abrangência K _{LAB1} %	Incerteza expandida U(E _i) %
LAB 1	-1,23	0,24	2,17	0,53
LAB 2	-1,34	0,16	2,00	0,32
LAB 3	-1,23	0,64	2,00	1,28
LAB 4	-1,47	0,91	2,00	1,81
LAB 5	-0,84	1,20	2,00	2,41
LAB 6	-1,27	0,27	2,02	0,54

Fig. 7 – Gráfico dos erros em relação à VR (250 cm³/min)
VR = - 1,29 U(VR) = 0,23

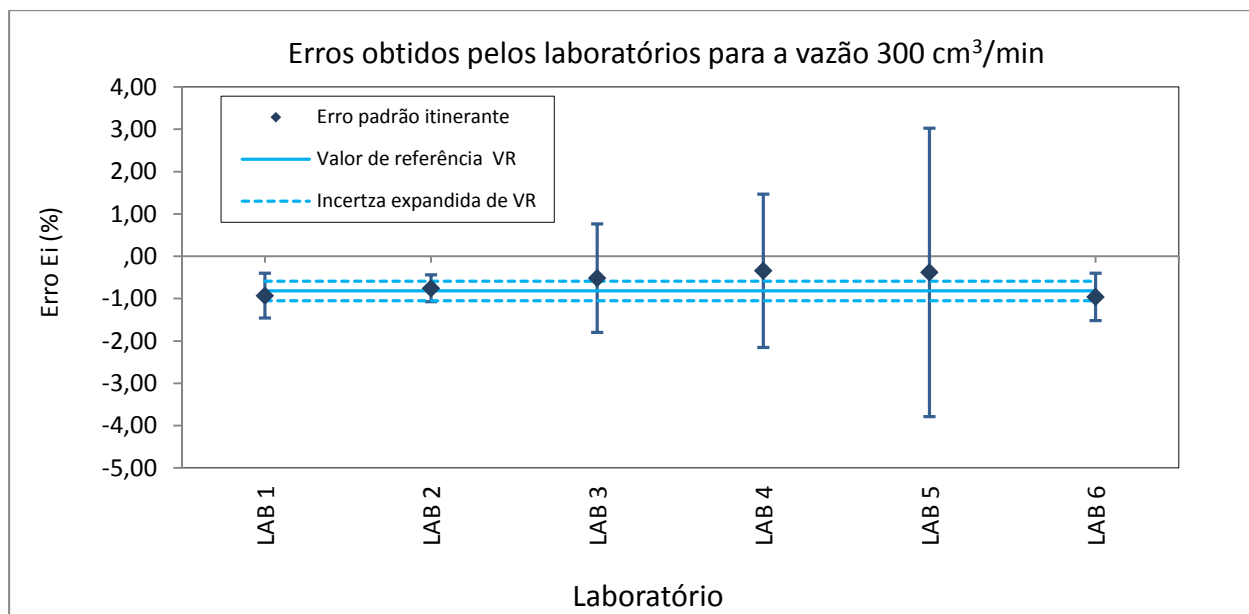


f) Vazão de 300 cm³/min

Tabela 11 – Resultados das medições (300 cm³/min)

Laboratório participante Código	Erro E _i %	Incerteza padrão u(E ₁) %	Fator de abrangência K _{LAB1} %	Incerteza expandida U(E _i) %
LAB 1	-0,93	0,24	2,11	0,50
LAB 2	-0,76	0,16	2,00	0,32
LAB 3	-0,51	0,64	2,00	1,27
LAB 4	-0,34	0,91	2,00	1,81
LAB 5	-0,38	1,20	2,00	2,41
LAB 6	-0,96	0,27	2,11	0,57

Fig. 8 – Gráfico dos erros em relação à VR (300 cm³/min)
 $VR = - 0,82 \quad U(VR) = 0,23$

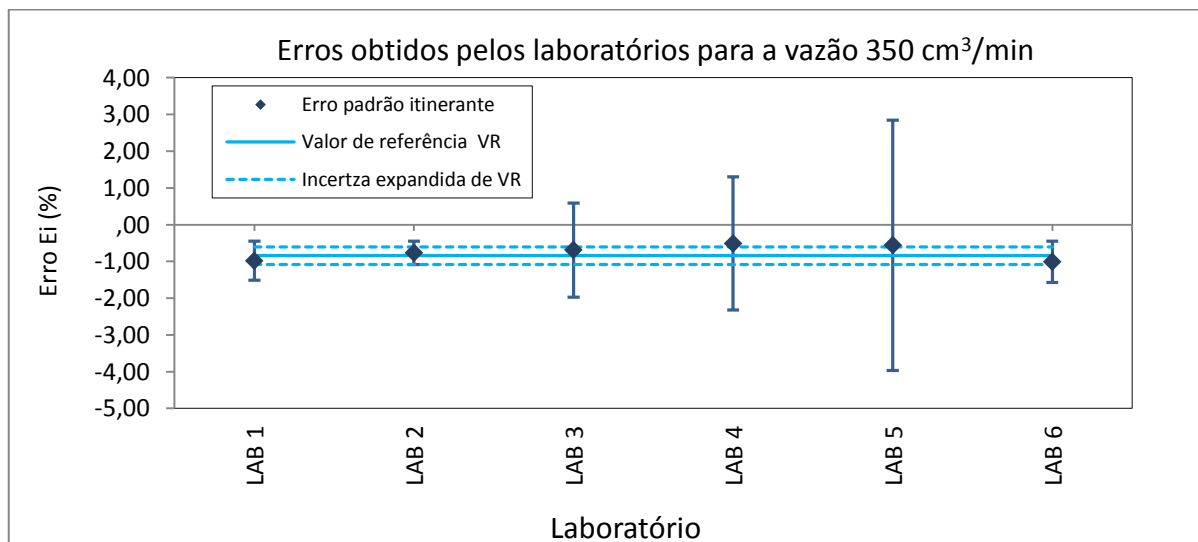


g) Vazão de 350 cm³/min

Tabela 12 – Resultados das medições (350 cm³/min)

Laboratório participante Código	Erro E _i %	Incerteza padrão u(E _i) %	Fator de abrangência K _{LAB1} %	Incerteza expandida U(E _i) %
LAB 1	-0,98	0,27	2,05	0,55
LAB 2	-0,77	0,16	2,00	0,32
LAB 3	-0,69	0,63	2,00	1,26
LAB 4	-0,51	0,91	2,00	1,81
LAB 5	-0,56	1,20	2,00	2,41
LAB 6	-1,01	0,27	2,02	0,55

Fig. 9 – Gráfico dos erros em relação a VR (350 cm³/min)
 $VR = - 0,84 \quad U(VR) = 0,24$

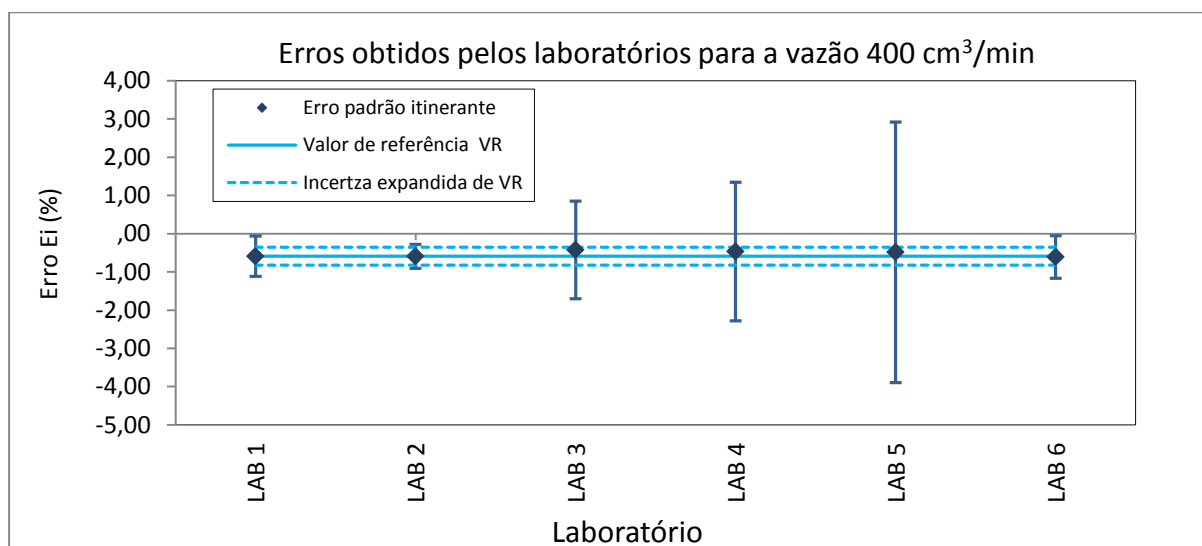


h) Vazão de 400 cm³/min

Tabela 13 – Resultados das medições (400 cm³/min)

Laboratório participante	Erro E _i	Incerteza padrão u(E _i)	Fator de abrangência K _{LAB1}	Incerteza expandida U(E _i)
Código	%	%	%	%
LAB 1	-0,59	0,27	2,02	0,54
LAB 2	-0,59	0,16	2,00	0,32
LAB 3	-0,42	0,65	2,01	1,30
LAB 4	-0,47	0,91	2,00	1,81
LAB 5	-0,49	1,20	2,00	2,41
LAB 6	-0,61	0,27	2,05	0,55

Fig. 10 – Gráfico dos erros em relação à VR (400 cm³/min)
 VR = - 0,59 U(VR) = 0,24

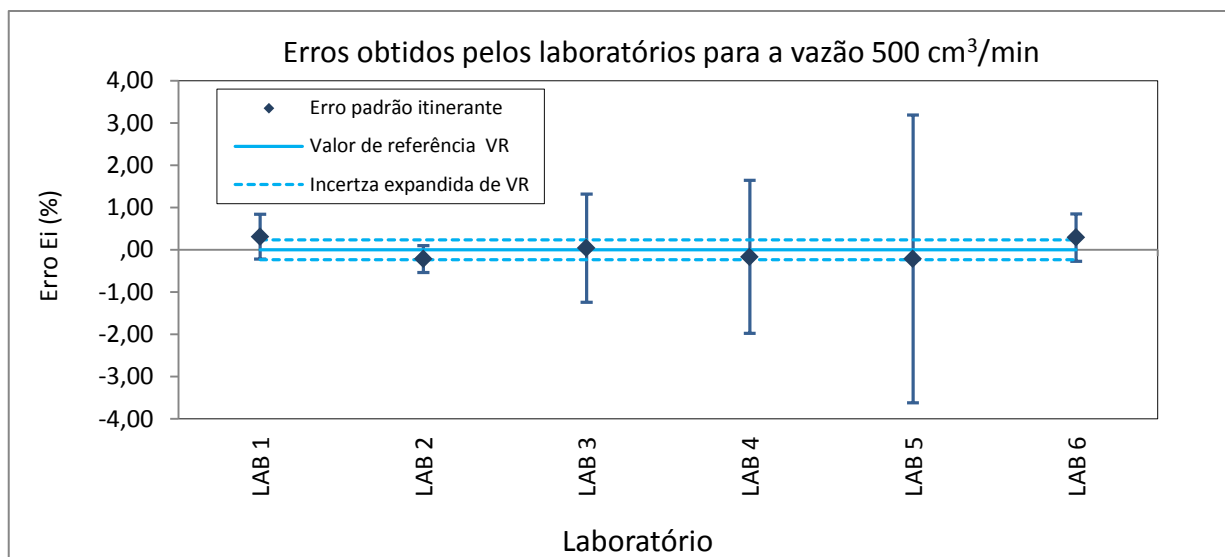


i) Vazão de 500 cm³/min

Tabela 14 – Resultados das medições (500 cm³/min)

Laboratório participante	Erro E _i	Incerteza padrão u(E _i)	Fator de abrangência K _{LAB1}	Incerteza expandida U(E _i)
Código	%	%	%	%
LAB 1	0,31	0,27	2,01	0,55
LAB 2	-0,22	0,16	2,00	0,32
LAB 3	0,04	0,64	2,01	1,29
LAB 4	-0,17	0,91	2,00	1,81
LAB 5	-0,21	1,20	2,00	2,41
LAB 6	0,29	0,25	2,13	0,54

Fig. 11 – Gráfico dos erros em relação à VR (500 cm³/min)
 $VR = 0,00$ $U(VR) = 0,23$



8.6 Grau de equivalência e avaliação de desempenho

As Tabelas de 15 a 20 apresentam separadamente, para cada participante, os valores obtidos para o grau de equivalência e a avaliação de seu desempenho, resultantes da aplicação do procedimento A do COX. Cada tabela é acompanhada de dois gráficos que mostram, respectivamente, os erros de medição em comparação com os valores de referência e os erros normalizados em todas as vazões calibradas.

Os resultados foram obtidos utilizando o “**suplemento interlaboratorial-packed.xll, versão 1.4**” disponibilizado pelo Laboratório de Vazão do CTMetro / IPT, e os dados apresentados nas planilhas do item 8.4 como dados de entrada.

Tabela 15 – Desempenho LAB 1

Código do laboratório participante: LAB 1				
Vazão	Diferença di	Incerteza padrão da diferença u(di)	Grau de equivalência E_n	Desempenho
(cm ³ /min)	(%)	(%)	(%)	
50	-0,016	0,21	0,04	Satisfatório
100	-0,106	0,24	0,22	Satisfatório
150	-0,130	0,23	0,28	Satisfatório
200	-0,063	0,21	0,15	Satisfatório
250	0,064	0,21	0,15	Satisfatório
300	-0,114	0,21	0,27	Satisfatório
350	-0,136	0,24	0,28	Satisfatório
400	-0,003	0,24	0,01	Satisfatório
500	0,313	0,25	0,64	Satisfatório

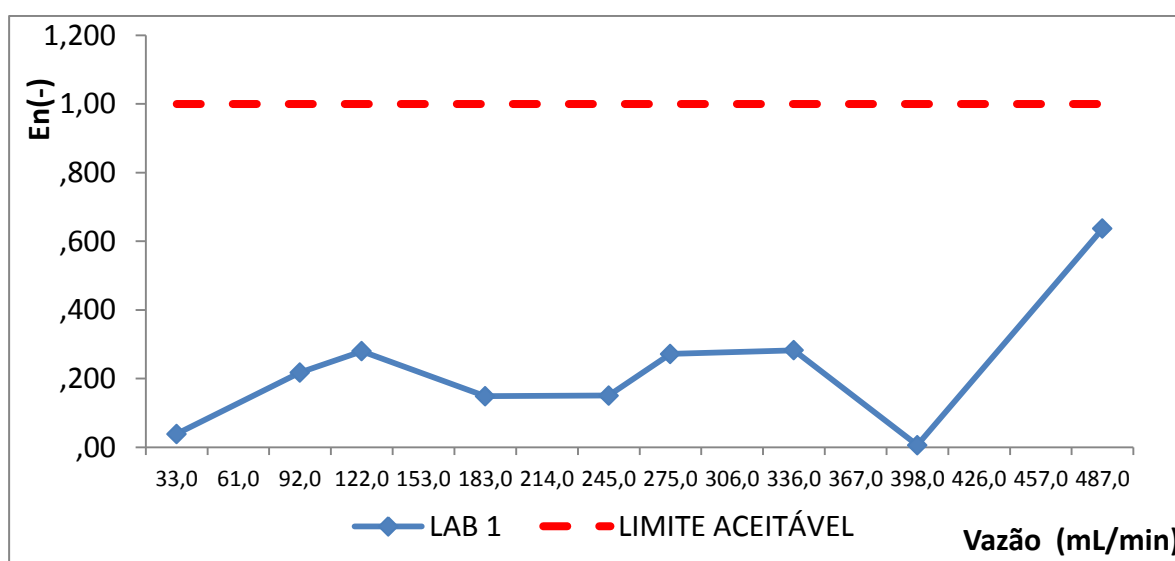
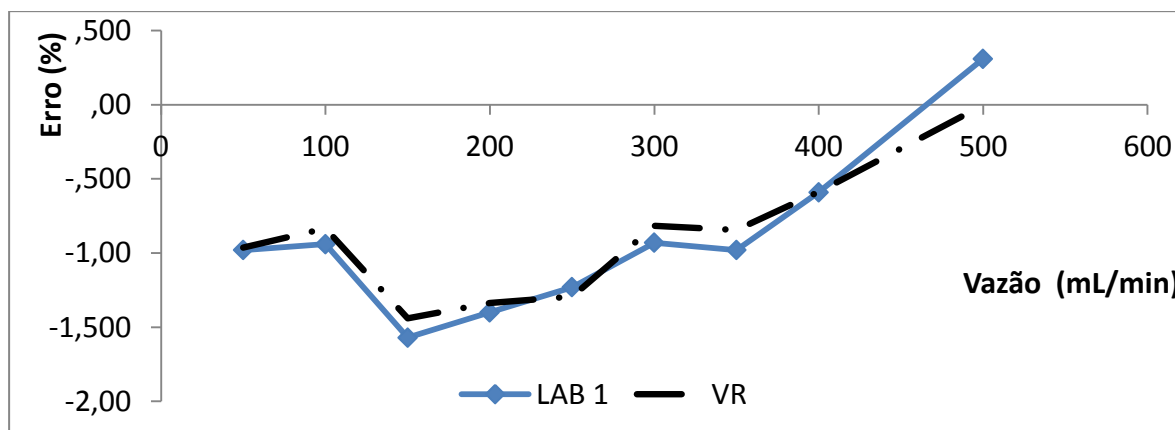


Tabela 16 – Desempenho LAB 2

Código do laboratório participante: LAB 2				
Vazão	Diferença di	Incerteza padrão da diferença u(di)	Grau de equivalência En	Desempenho
(cm ³ /min)	(%)	(%)	(%)	
50	-0,059	0,11	0,27	Satisfatório
100	0,018	0,11	0,09	Satisfatório
150	0,039	0,11	0,18	Satisfatório
200	-0,015	0,11	0,07	Satisfatório
250	-0,042	0,11	0,19	Satisfatório
300	0,060	0,11	0,27	Satisfatório
350	0,078	0,11	0,37	Satisfatório
400	-0,006	0,11	0,03	Satisfatório
500	-0,215	0,11	1,00	Satisfatório

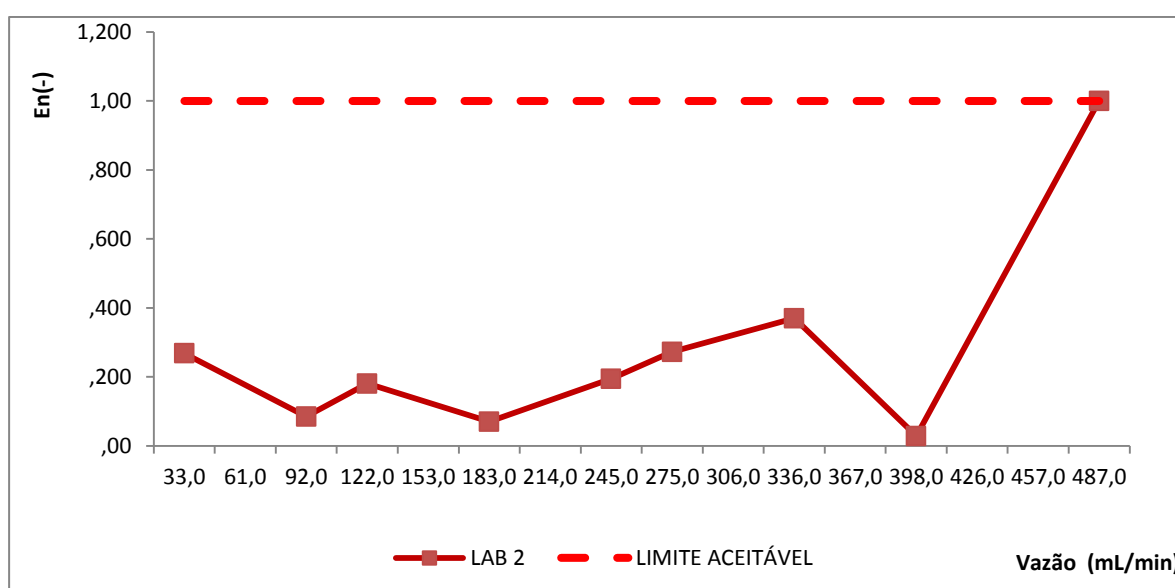
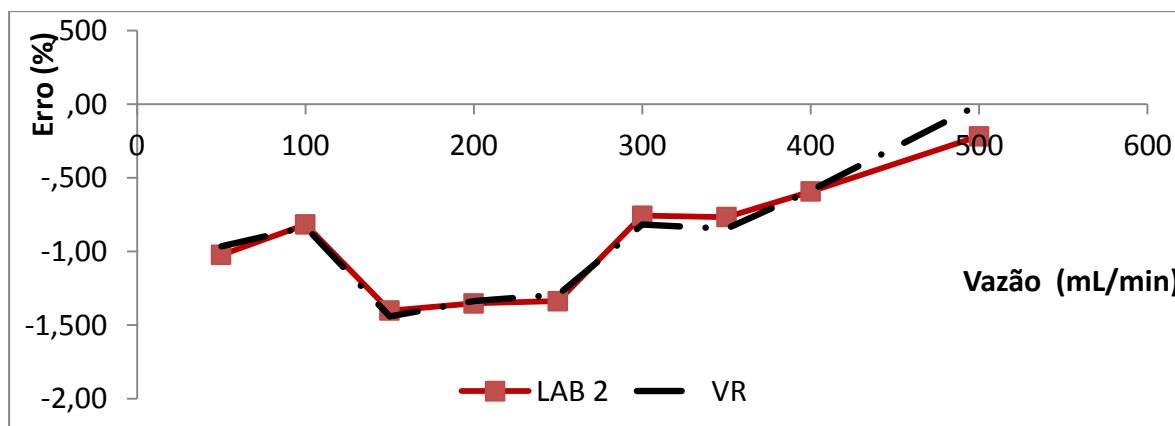


Tabela 17 – Desempenho LAB 3

Código do laboratório participante: LAB 3

Vazão	Diferença di	Incerteza padrão da diferença u(di)	Grau de equivalência E_n	Desempenho
(cm ³ /min)	(%)	(%)	(%)	
50	0,019	0,63	0,01	Satisfatório
100	0,235	0,64	0,18	Satisfatório
150	0,296	0,62	0,24	Satisfatório
200	0,272	0,64	0,21	Satisfatório
250	0,060	0,63	0,05	Satisfatório
300	0,301	0,63	0,24	Satisfatório
350	0,155	0,62	0,13	Satisfatório
400	0,162	0,64	0,13	Satisfatório
500	0,043	0,63	0,03	Satisfatório

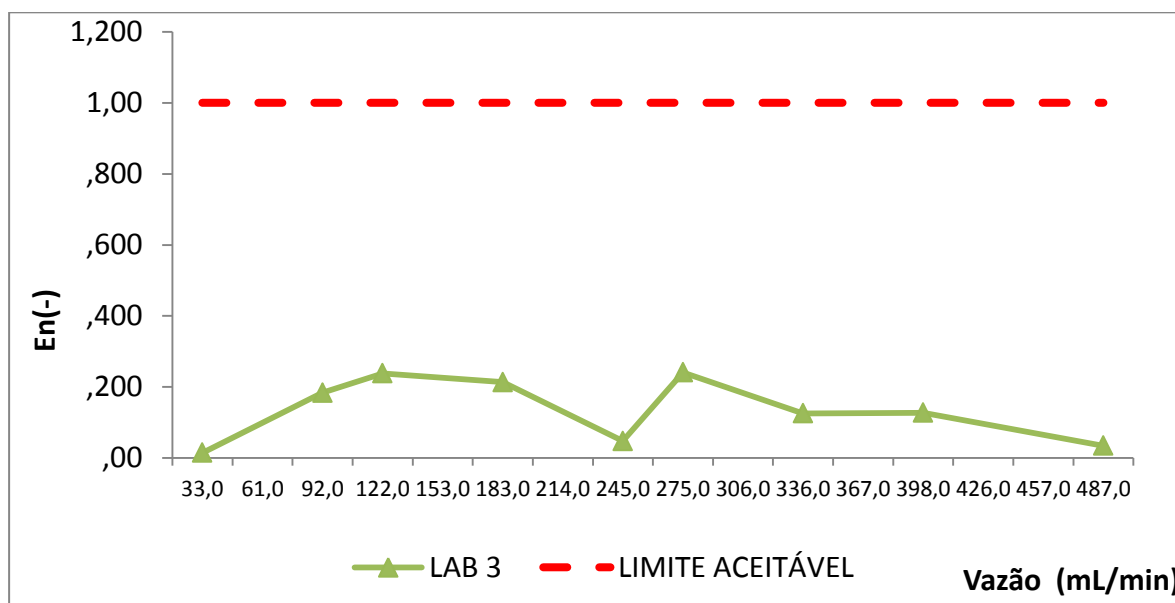
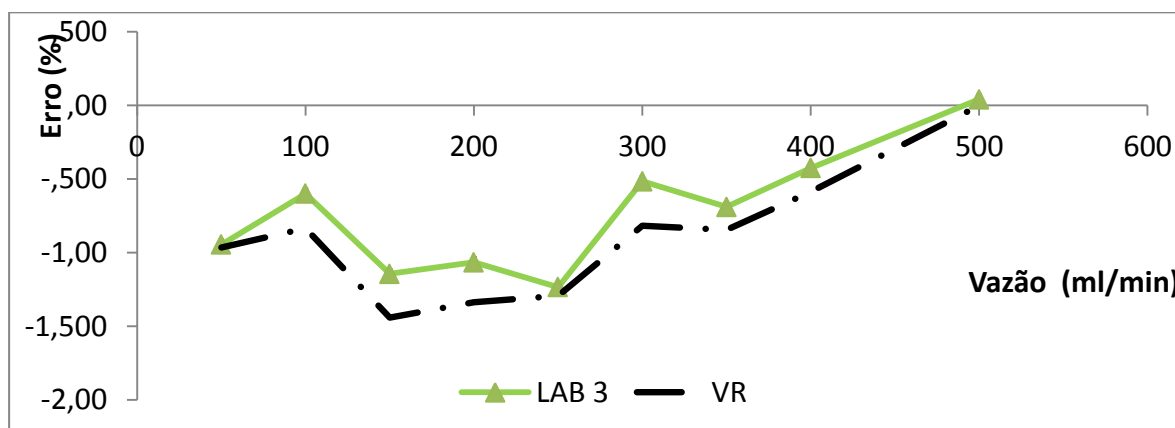


Tabela 18 – Desempenho LAB 4

Código do laboratório participante: LAB 4				
Vazão	Diferença	Incerteza padrão	Grau de	Desempenho
(cm ³ /min)	di	da diferença	equivalência	
	(%)	u(di)	E _n	
		(%)	(%)	
50	1,266	0,90	0,70	Satisfatório
100	0,830	0,90	0,46	Satisfatório
150	0,880	0,90	0,49	Satisfatório
200	0,591	0,90	0,33	Satisfatório
250	-0,174	0,90	0,10	Satisfatório
300	0,476	0,90	0,27	Satisfatório
350	0,334	0,90	0,19	Satisfatório
400	0,121	0,90	0,07	Satisfatório
500	-0,167	0,90	0,09	Satisfatório

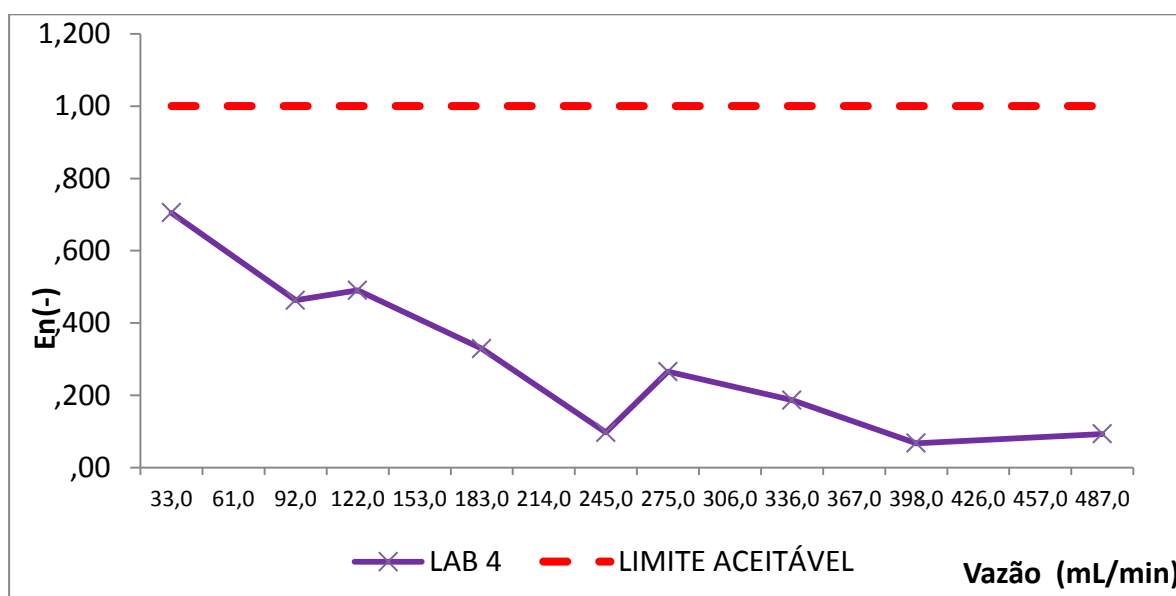
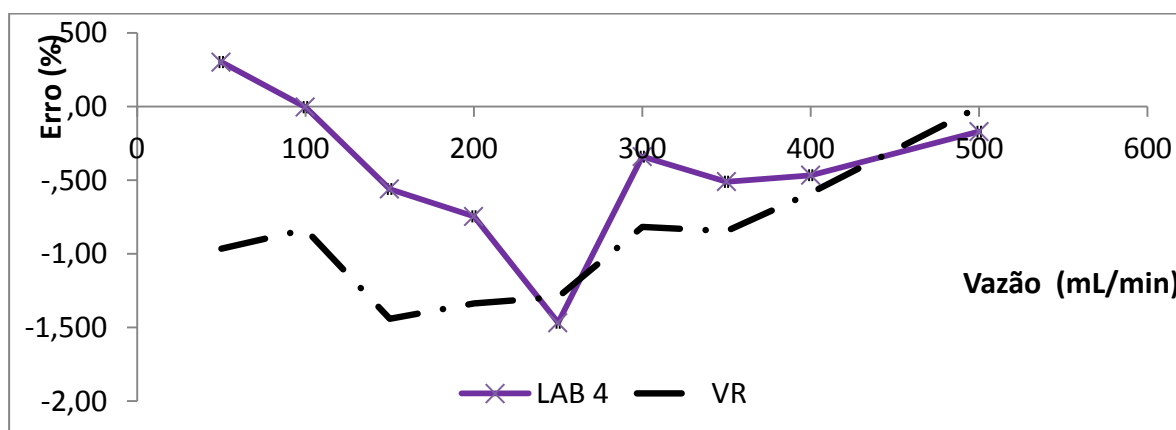


Tabela 19 – Desempenho LAB 5

Código do laboratório participante: LAB 5

Vazão	Diferença di	Incerteza padrão da diferença u(di)	Grau de equivalência En	Desempenho
(cm ³ /min)	(%)	(%)	(%)	
50	1,174	1,70	0,35	Satisfatório
100	0,544	1,20	0,23	Satisfatório
150	0,182	1,20	0,08	Satisfatório
200	0,730	1,20	0,30	Satisfatório
250	0,454	1,20	0,19	Satisfatório
300	0,435	1,20	0,18	Satisfatório
350	0,285	1,20	0,12	Satisfatório
400	0,100	1,20	0,04	Satisfatório
500	-0,210	1,20	0,09	Satisfatório

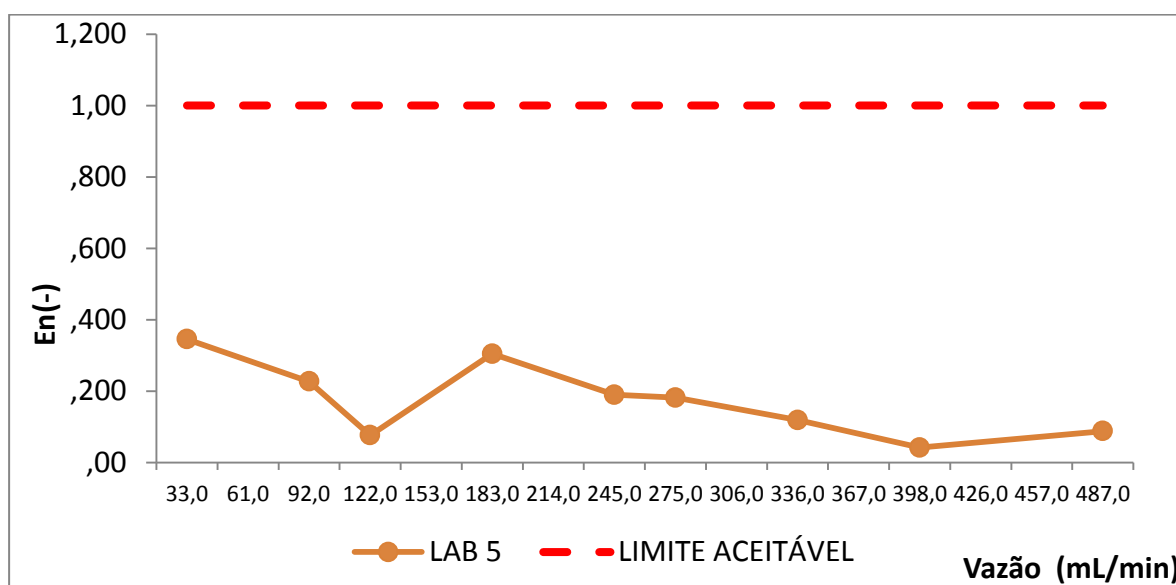
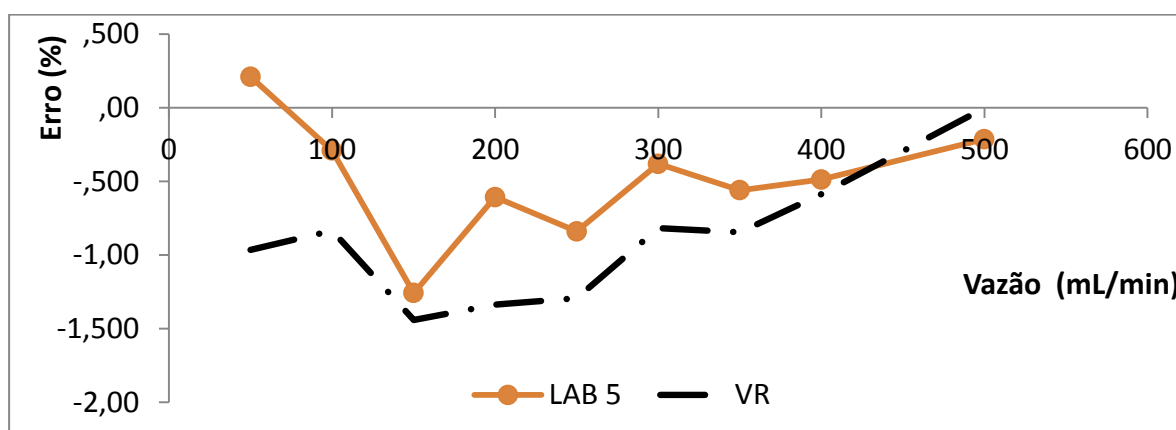
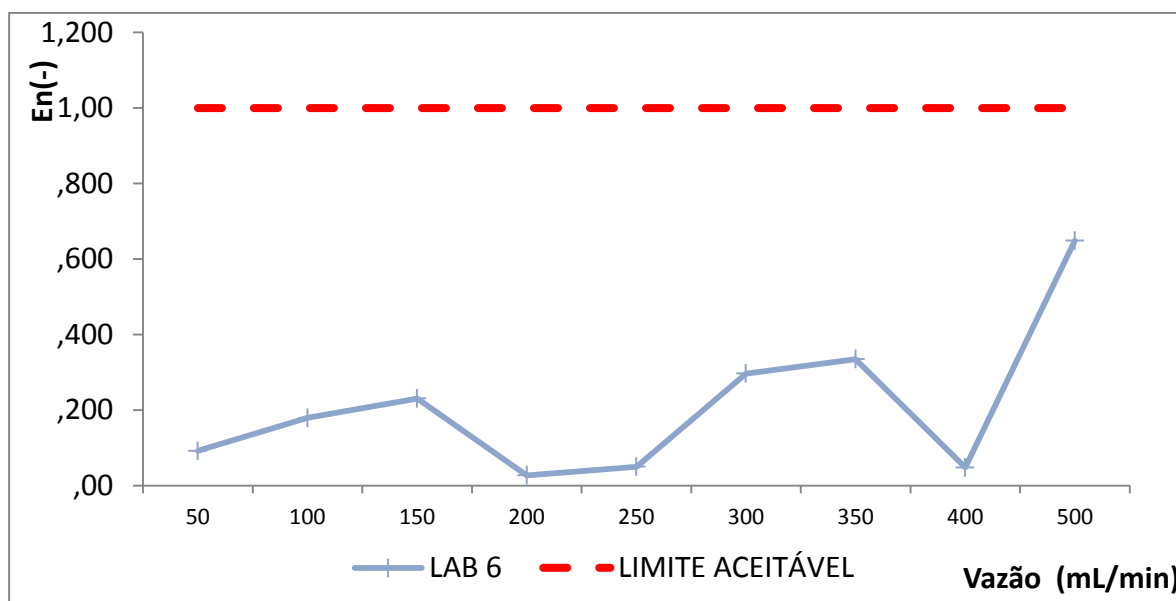
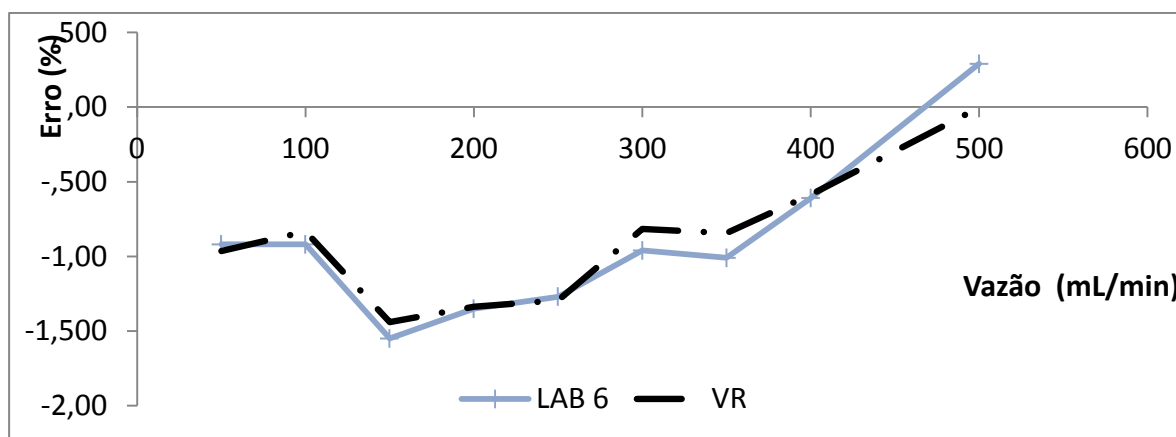


Tabela 20 – Desempenho LAB 6

Código do laboratório participante: LAB 6

Vazão	Diferença di	Incerteza padrão da diferença u(di)	Grau de equivalência E_n	Desempenho
(cm ³ /min)	(%)	(%)	(%)	
50	0,044	0,24	0,09	Satisfatório
100	-0,086	0,24	0,18	Satisfatório
150	-0,110	0,24	0,23	Satisfatório
200	-0,013	0,24	0,03	Satisfatório
250	0,024	0,24	0,05	Satisfatório
300	-0,144	0,24	0,30	Satisfatório
350	-0,166	0,25	0,33	Satisfatório
400	-0,023	0,24	0,05	Satisfatório
500	0,293	0,23	0,65	Satisfatório



9 CONCLUSÃO

Por meio deste 3º Programa Interlaboratorial em Baixa Vazão de Gás os três laboratórios acreditados na Cgcre atenderam o requisito 5.9 da norma NBR ISO/IEC 17025 ao demonstrar a qualidade dos seus resultados e os três laboratórios postulantes à acreditação tiveram a oportunidade de demonstrar sua competência técnica.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Subcomissão Técnica do 3º Programa Interlaboratorial em Baixa Vazão de Gás, *Protocolo do Programa Interlaboratorial, Comissão Técnica de Vazão CT-13, DICLA - Divisão de Credenciamento de Laboratórios de Calibração do INMETRO, Junho 2015.*
- 2 COX, M. G. The evaluation of key comparison data, *Metrologia*, v 39, n 6, p 589-595, 2002.
- 3 *Operação dos Comitês Técnicos de Assessoramento à CGCRE na Acreditação de Organismos de Avaliação da Conformidade; NIE-CGCRE-045, INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Revisão 01, Março de 2015.*
- 4 Subcomissão Técnica do 2º Programa Interlaboratorial em Baixa Vazão de Gás, *Protocolo do Programa Interlaboratorial, Comissão Técnica de Vazão CT-13, DICLA - Divisão de Credenciamento de Laboratórios de Calibração do INMETRO, Julho 2012.*
- 5 *Subcomissão Técnica do 2º Programa Interlaboratorial em Vazão de Gás – Baixa Vazão, Relatório Final, Comissão Técnica de Vazão CT-13, DICLA – Divisão de Credenciamento de laboratórios de Calibração do INMETRO, Setembro de 2014.*
- 6 *Subcomissão Técnica do 2º Programa Interlaboratorial em Vazão de Gás – Média e Alta Vazão, Relatório Final, Comissão Técnica de Vazão CT-13, DICLA – Divisão de Credenciamento de laboratórios de Calibração do INMETRO, Junho de 2014.*

Belo Horizonte, 02 de setembro de 2016

Responsáveis pela elaboração do relatório

Ramon Zeferino
Maria Luiza Moraes dos Santos