

## 4 Análise de resultados

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados no Laboratório A e no Laboratório B e desenvolve uma análise crítica dos resultados obtidos.

Os resultados estão sendo apresentados de tal forma a verificar, com base nos fatores citados nos objetivos de cada ensaio, se eles de fato afetam o erro e a repetitividade especificados em [5] de uma calibração.

Para efeito de comparação com as especificações da OIML R-117 [5] os resultados de erro estão apresentados em condições de referência.

Vale lembrar que este trabalho se propõe a avaliar os efeitos no erro e na repetitividade durante a calibração de um medidor ultra-sônico do tipo tempo de trânsito em relação aos seguintes fatores, conforme descrito no Capítulo 2:

- a) Efeitos devido às instalações para calibração;
- b) Efeitos devido ao procedimento de calibração;
- c) Efeitos devido à quantidade do volume provado;
- d) Efeitos devido ao atraso (*delay*) na geração de sinal (pulsos) do medidor ultra-sônico;

Primeiramente estão sendo apresentados os resultados obtidos no **Laboratório A** e no **Laboratório B**, realizados em fevereiro de 2006.

### 4.1 Resultados obtidos no Laboratório A

Conforme apresentado no capítulo 3 deste trabalho, as calibrações nas condições C2T1, C2T2, C2T3 e C2T4, foram realizados de tal modo a reproduzirem as condições de calibração executadas através do Método-3 pelo **Laboratório B**. Os erros relativos nas condições de referência e a repetitividade obtidos em cada ensaio, são mostrados nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 — Erros relativos (%) dos ensaios no Laboratório A.

Vazão nominal	C1T1	C2T1	C2T2	C2T3	C2T4
30	-0,05	0,04	0,06	0,07	0,06
30	-0,07	0,04	0,06	0,11	0,04
30	-0,06	0,06	0,05	0,04	0,05
40		0,06		0,08	0,04
40		0,05		0,09	0,08
40		0,04		0,06	0,07
60		0,07	0,03	0,15	0,10
60		0,04	0,03	0,05	0,08
60		0,12	0,05	0,08	0,07
80	-0,04	0,11	0,06	0,18	0,19
80	-0,05	0,13	0,05	0,17	0,12
80	-0,01	0,16	0,16	0,13	0,15
80			0,16		
80			0,12		
167	0,04				
167	0,01				
167	0,03				

Tabela 5 — Repetitividade (%) dos ensaios no Laboratório A.

Vazão nominal	C1T1	C2T1	C2T2	C2T3	C2T4
30	0,01	0,02	0,02	0,07	0,02
40		0,02		0,03	0,04
60		0,09	0,02	0,10	0,03
80	0,04	0,05	0,11	0,05	0,07
167	0,03				

Para o melhor entendimento das análises realizadas neste documento são apresentadas a seguir os objetivos dos métodos e condições de calibração, conforme definidas no Capítulo 3, e os resultados obtidos.

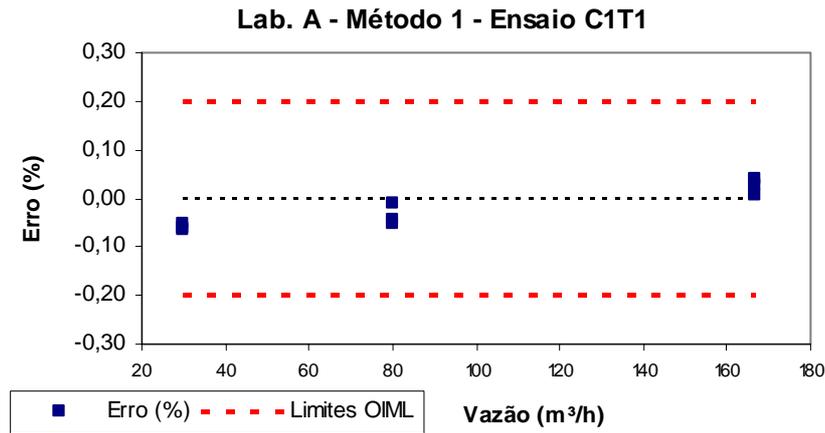
- Método-1 e condição de calibração C1T1

Objetivou avaliar:

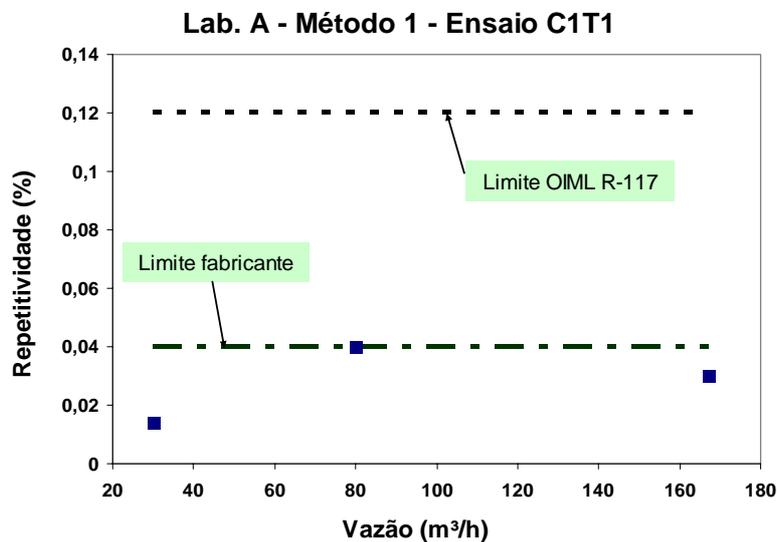
- a) O efeito de trechos retos de tubulação com 40 diâmetros à montante do trecho de medição;
- b) Ausência de transiente de vazão;
- c) O efeito da quantidade de volume provado (15 m<sup>3</sup>).

As corridas neste ensaio foram realizadas nas vazões nominais de 30 m<sup>3</sup>/h, 80 m<sup>3</sup>/h e 167 m<sup>3</sup>/h.

As Fig. 31 e 32 mostram o erro relativo (erro %) e a repetitividade para o ensaio C1T1.



**Figura 31** — Erro x vazão nominal no Ensaio C1T1



**Figura 32** — Repetitividade x vazão nominal no ensaio C1T1

Pode-se observar que tanto o erro relativo como a repetitividade atendem aos limites da OIML R-117 e do fabricante, quando foram utilizados 40 diâmetros de trechos retos de tubo à montante do trecho de medição e na ausência de transiente de vazão.

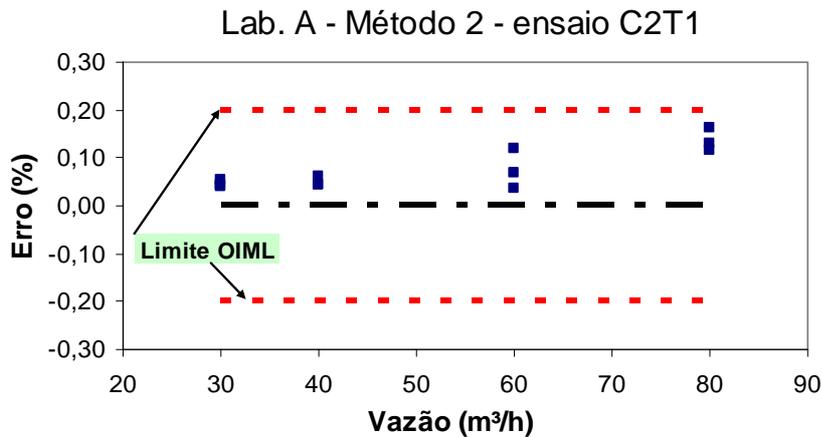
- Método-2 e condição de calibração C2T1

Objetivou avaliar:

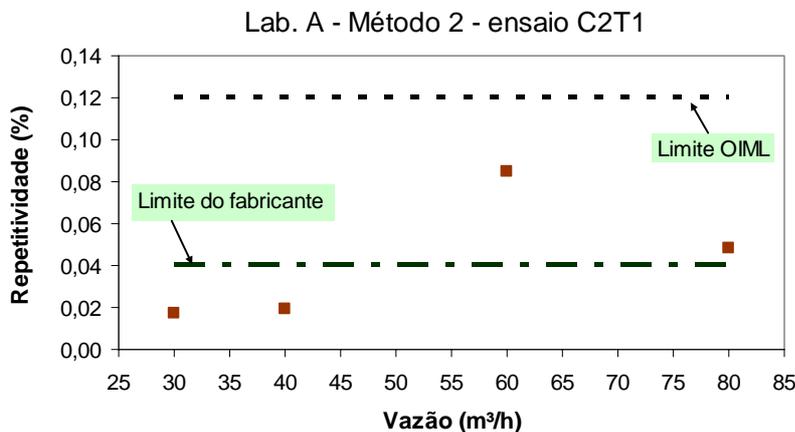
- O efeito de acidentes imediatamente à montante do trecho de medição;
- Presença de transiente;
- O efeito da quantidade de volume provado (15 m³).

As corridas neste ensaio foram realizadas nas vazões nominais de 30 m³/h, 40 m³/h, 60 m³/h e 80 m³/h.

As Fig. 33 e 34 mostram o erro relativo (%) e a repetitividade para o ensaio C2T1.



**Figura 33** — Erro x vazão nominal no ensaio C2T1



**Figura 34** — Repetitividade x vazão nominal no ensaio C2T1

Pode-se observar que tanto o erro como a repetitividade atendem aos limites da OIML R-117, mas com uma tendência a aumentar o erro em relação ao ensaio C1T1. A repetitividade apresentou valores acima do especificado pelo fabricante (até 0,04% em laboratório).

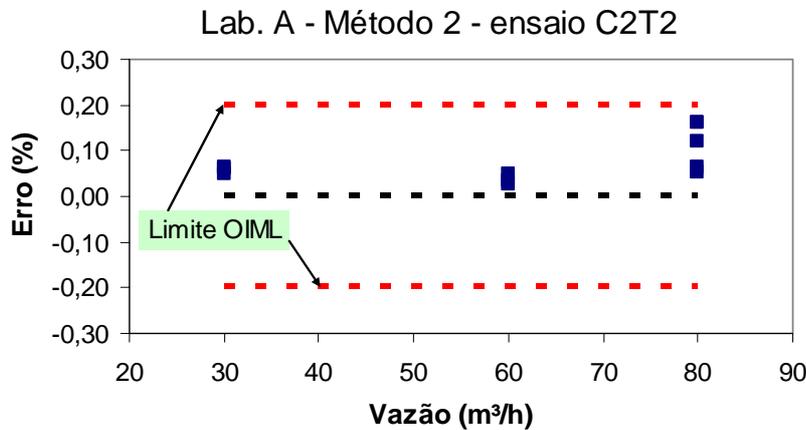
- Método-2 e condição de calibração C2T2

Objetivou avaliar:

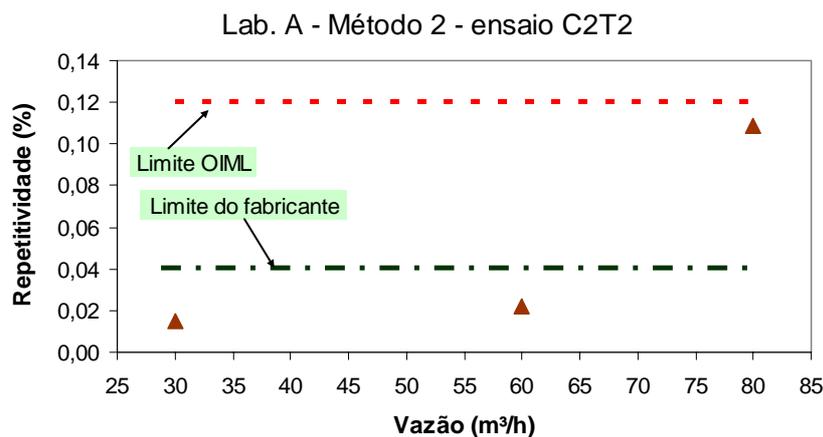
- O efeito de acidentes imediatamente à montante do trecho de medição;
- Ausência de transiente;
- O efeito da quantidade de volume provado (15 m<sup>3</sup>).

As corridas neste ensaio foram realizadas nas vazões nominais de 30 m<sup>3</sup>/h, 60 m<sup>3</sup>/h e 80 m<sup>3</sup>/h.

As Fig. 35 e 36 mostram o erro relativo (erro %) e a repetitividade para o ensaio C2T2.



**Figura 35** — Erro x vazão nominal no ensaio C2T2



**Figura 36** — Repetitividade x vazão nominal no ensaio C2T2

Pode-se observar que tanto o erro como a repetitividade atendem aos limites da OIML R-117, mas com uma tendência a aumentar o erro em relação ao ensaio C1T1. Como no ensaio C2T1, a repetitividade apresentou valores acima do especificado pelo fabricante (até 0,04% em laboratório).

- Método-2 e condição de calibração C2T3

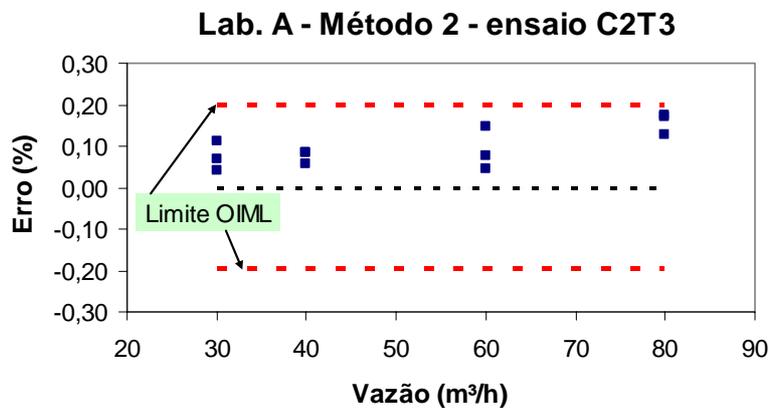
Objetivou avaliar:

- a) O efeito de acidentes imediatamente à montante do trecho de medição;
- b) Presença de transiente;

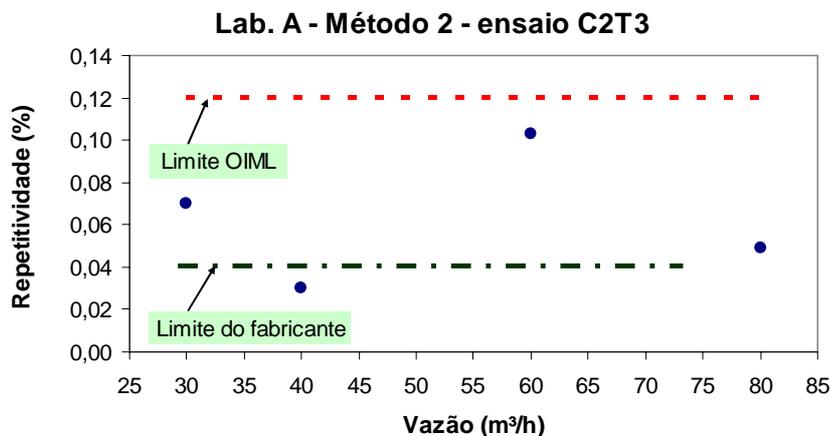
- c) O efeito da quantidade de volume provado ( $5 \text{ m}^3$ ).

As corridas neste ensaio foram realizadas nas vazões nominais de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $60 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ .

As Fig. 37 e 38 mostram o erro e a repetitividade para o ensaio C2T3.



**Figura 37** — Erro x Vazão nominal no ensaio C2T3



**Figura 38** — Repetitividade x Vazão nominal no ensaio C2T3

Pode-se observar que tanto o erro como a repetitividade atendem aos limites da OIML R-117, mas com uma tendência a aumentar o erro em relação ao ensaio C1T1. Neste caso também, a repetitividade apresentou valores acima do especificado pelo fabricante (até 0,04% em laboratório).

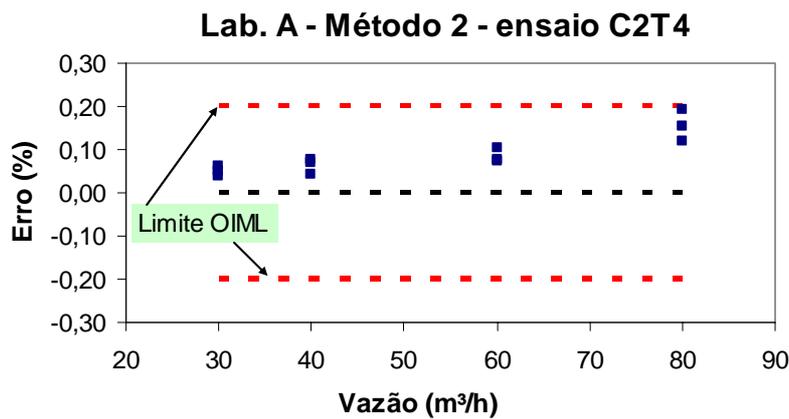
- Método-2 e condição de calibração C2T4

Objetivou avaliar:

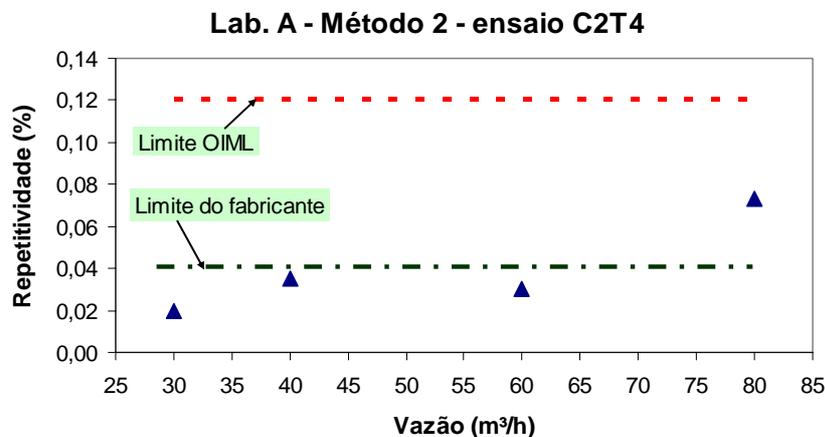
- a) O efeito de acidentes imediatamente à montante do trecho de medição;
- b) Presença de transiente;
- c) O efeito da quantidade de volume provado ( $15 \text{ m}^3$ ).

As corridas neste ensaio foram realizadas nas vazões nominais de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $60 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ .

As Fig. 39 e 40 mostram o erro e a repetitividade para o ensaio C2T4.



**Figura 39** — Erro (%) x vazão nominal no ensaio C2T4

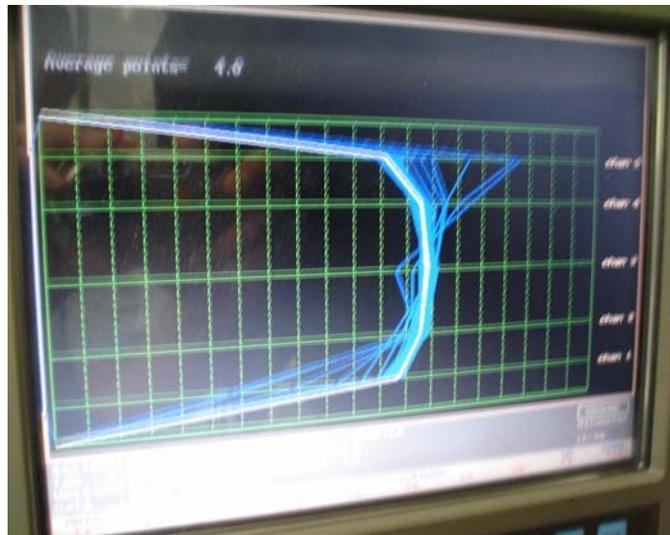


**Figura 40** — Repetitividade (%) x vazão nominal no ensaio C2T4

Pode-se observar que tanto o erro como a repetitividade atendem aos limites da OIML R-117, mas com uma tendência a aumentar o erro em relação ao ensaio C1T1. Mais uma vez pode-se observar que a repetitividade apresentou valores acima do especificado pelo fabricante (até 0,04% em laboratório).

Por fim, uma observação relevante feita durante o ensaio C2T1 e o ensaio C2T3, realizados no Laboratório A, aponta para variações ocorridas no perfil de

escoamento que foram percebidas e eram esperadas. Como o medidor dispõe de uma tela para diagnóstico desse perfil de escoamento na seção transversal do tubo, vê-se na Fig. 41 que existe uma distorção (linhas azuis) no perfil provocado por uma válvula à montante do trecho de medição, utilizada para iniciar um ensaio partindo do fluido em repouso (vazão zero), e para finalizá-lo. A linha branca representa um perfil padrão de escoamento turbulento. Na Fig. 41 observa-se que a velocidade é maior na parte superior da seção. Essa diferença de velocidade afeta a determinação da velocidade média, utilizada para determinar a medição de vazão neste tipo de medidor. A Fig. 42 ilustra uma corrida com perfil de escoamento com vazão estável.



**Figura 41** — Perfil de escoamento no início de um ensaio partindo do fluido em repouso



**Figura 42** — Perfil de escoamento durante a corrida com vazão estabilizada.

## 4.2

### Resultados obtidos no Laboratório B

Na seqüência são apresentados os resultados dos ensaios obtidos no Laboratório B e pelo Método-3 e pelo Método-4.

#### 1. Resultados pelo Método-3

Os resultados do Método-3 mostrados a seguir servem como referência para avaliação dos efeitos descritos na introdução deste capítulo e para uma análise comparativa com os resultados obtidos no Laboratório A pelo Método-2.

O ensaio pelo Método-3 foi realizado no mesmo período em que ocorreram os ensaios no Laboratório A (fevereiro de 2006), utilizando o mesmo medidor (DN=100 mm), conforme descrito no capítulo 3 deste trabalho.

As tabelas 6 e 7 apresentam os resultados obtidos de erro e repetitividade na calibração do medidor, respectivamente, expressos em termos percentuais. As corridas neste ensaio foram realizadas nas vazões nominais de 30 m<sup>3</sup>/h, 83 m<sup>3</sup>/h, 120 m<sup>3</sup>/h e 150 m<sup>3</sup>/h.

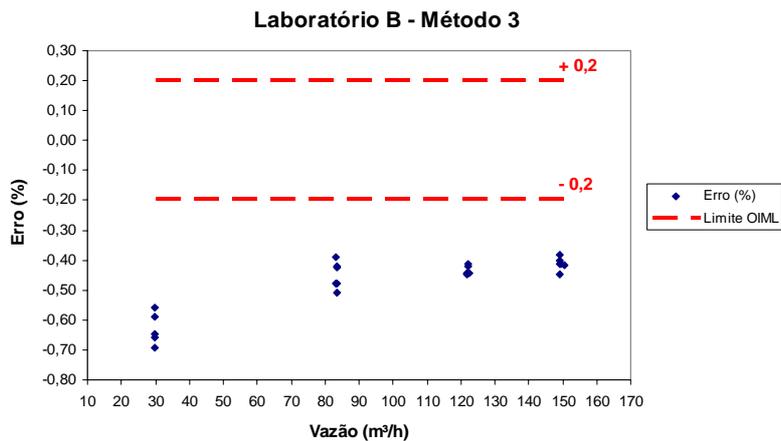
**Tabela 6** — Erro x Vazão Nominal obtidos no Lab. B, Método-3

m <sup>3</sup> /h	30	30	30	30	30	83	83	83	83	83	83
Erro(%)	-0,56	-0,59	-0,65	-0,66	-0,69	-0,42	-0,51	-0,42	-0,39	-0,48	-0,48
m <sup>3</sup> /h	120	120	120	120	120	150	150	150	150	150	150
Erro(%)	-0,44	-0,42	-0,41	-0,45	-0,45	-0,42	-0,45	-0,41	-0,38	-0,40	-0,41

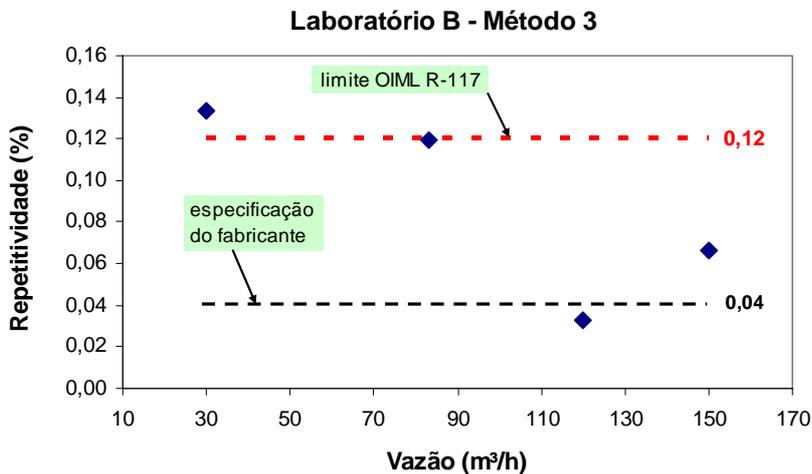
**Tabela 7** — Repetitividade x Vazão Nominal obtidos no Lab. B, Método-3

Vazão nominal (m <sup>3</sup> /h)	30	83	120	150
Repetitividade (%)	0,13	0,12	0,03	0,07

A Fig. 43 e a Fig. 44 mostram o erro e a repetitividade para o ensaio.



**Figura 43** — Resultados de Erro x Vazão Nominal obtidos no Laboratório B, Método-3



**Figura 44** — Repetitividade x vazão nominal no Laboratório B, Método-3

Pode-se observar que tanto o erro como a repetitividade não atendem aos limites da OIML R-117. Observa-se ainda que os piores resultados de erro e de repetitividade foram obtidos na menor vazão nominal ( $30 \text{ m}^3/\text{h}$ ) e que um de dois pontos dentro dos limites da OIML R-117 para repetitividade apresentou valor acima do limite especificado pelo fabricante (até 0,04% em laboratório).

## 2. Resultados pelo Método-4

Conforme descrito no capítulo 3, para os ensaios realizados com o Método-4, foi utilizado um sistema de calibração com medidor padrão. O instrumento

objeto do experimento foi um medidor ultra-sônico do tipo tempo de trânsito com dois pares de transdutores ultra-sônicos, de diâmetro nominal = 200 mm (DN=8”).

Este ensaio foi realizado com o objetivo de demonstrar a influência do atraso na contagem de pulsos (*delay*) na medição por ultra-som e ainda demonstrar que isso ocorre quando são utilizados sistemas de calibração, onde o início e o término de um ensaio ocorre com o fluido em repouso (vazão zero).

Pretende-se apresentar graficamente para análise apenas as seguintes observações:

- a) Curva típica de Vazão x Tempo para cada vazão nominal de ensaio, considerando;
- b) Período efetivo para contagem de pulsos;
- c) Resumo dos erros relativos x tempo, considerando período total da corrida e período efetivo para contagem de pulsos;
- d) Repetitividade em cada vazão testada.

Os valores de erro foram obtidos nas vazões nominais de 300 m<sup>3</sup>/h, 400 m<sup>3</sup>/h e 500 m<sup>3</sup>/h. Os erros estão sendo indicados nas seguintes condições:

- a) Erro relativo total – obtido fazendo-se uma corrida em que a contagem de pulsos ocorre desde o instante da abertura da válvula esfera (*on-off*), à montante do trecho de medição, até o seu efetivo fechamento;
- b) Erro relativo parcial – obtido fazendo-se uma corrida em que o período da contagem de pulsos é escolhido de tal forma a minimizar a influência do *delay* causado pela abertura e fechamento da válvula esfera (*on-off*), à montante do trecho de medição.

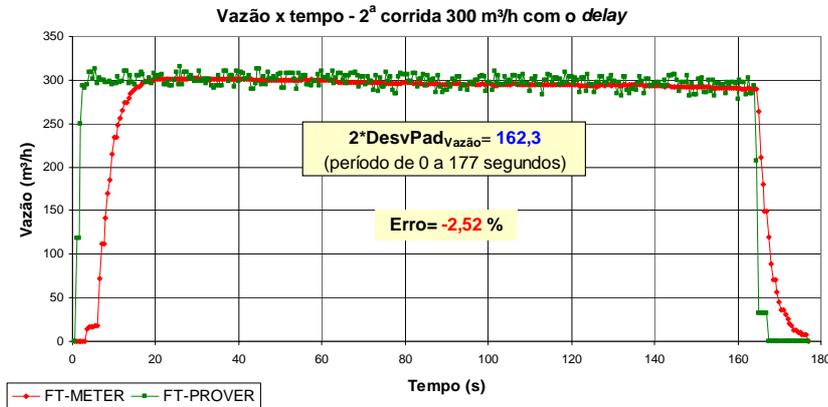
Os intervalos de tempo indicados foram obtidos a partir do computador de vazão que estava conectado ao medidor, recebendo os sinais discretizados de pulsos, tanto do medidor em ensaio como do medidor padrão.

### **Resultados obtidos na vazão nominal de 300 m<sup>3</sup>/h**

Os dados da 2ª corrida estão indicados na tabela 14 (período de 0-177 s) e na tabela 15 (período de 24,5-162,5 s), contidas no Anexo 1.

A Fig. 45 mostra a influência do atraso na contagem de pulsos do medidor ultra-sônico no erro de medição. Observa-se um erro relativo de -2,52%, o que

reprovaria o medidor tendo em vista que o erro máximo admissível para este medidor é de  $\pm 0,6\%$ .

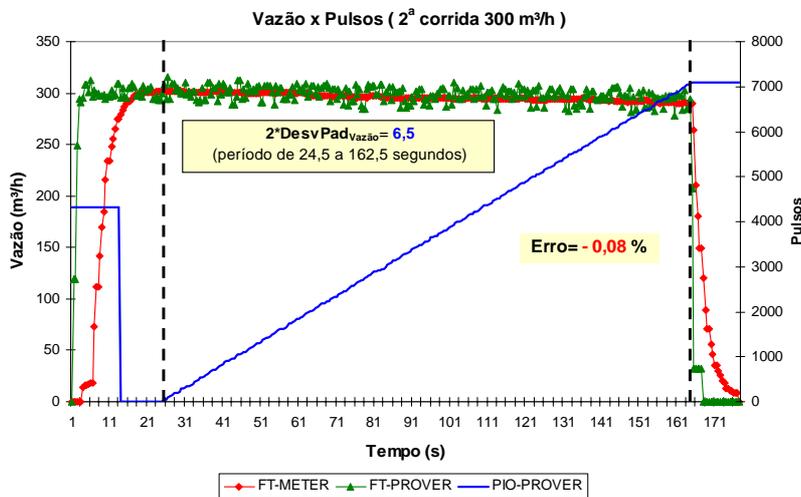


“FT METER” — Vazão no medidor ultra-sônico;

“FT PROVER” — Vazão no medidor padrão do tipo deslocamento positivo.

**Figura 45** — Influência do atraso na geração de pulsos do medidor ultra-sônico, na vazão nominal de  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ .

A Fig. 46 mostra que a escolha do período de amostragem reduziu a influência do atraso na contagem de pulsos, obtendo-se um erro de  $-0,08\%$ .



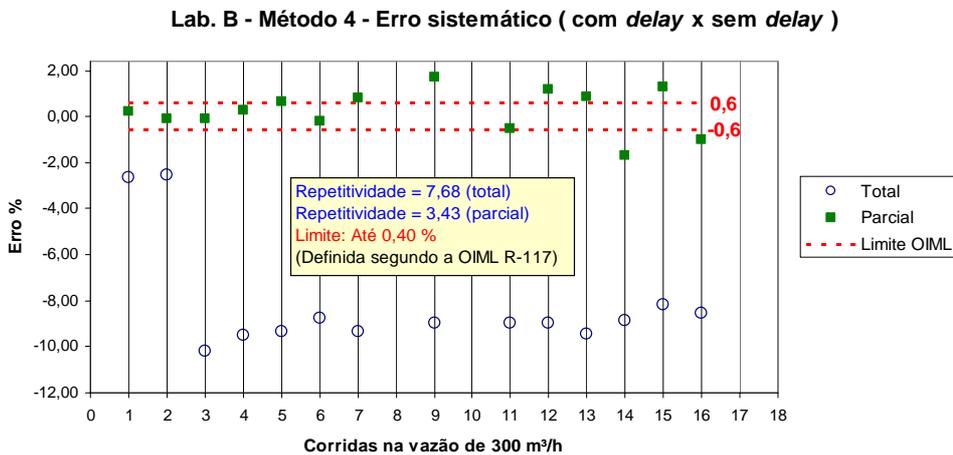
“PIO-PROVER” — Quantidades de pulsos contados no período de 24,5 a 162,5 segundos.

**Figura 46** — Influência da escolha do período de contagem de pulsos do medidor ultra-sônico no erro de medição, na vazão nominal de  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ .

A tabela 8 e a Fig. 47 apresentam um resumo dos erros relativos total e parcial na calibração com vazão nominal de  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ . Observa-se um desvio médio entre os erros total e parcial de  $8,4\%$ .

**Tabela 8** — Erros total e parcial na vazão nominal de 300 m<sup>3</sup>/h

Nr. da corrida	1	2	3	4	5	6	7
Erro total (%)	-2,63	-2,52	-10,19	-9,52	-9,36	-8,75	-9,33
Erro parcial (%)	0,20	-0,08	-0,12	0,25	0,63	-0,22	0,83
Nr. da corrida	9	11	12	13	14	15	16
Erro total (%)	-8,95	-8,95	-8,96	-9,42	-8,84	-8,15	-8,55
Erro parcial (%)	1,73	-0,52	1,17	0,88	-1,70	1,30	-1,02



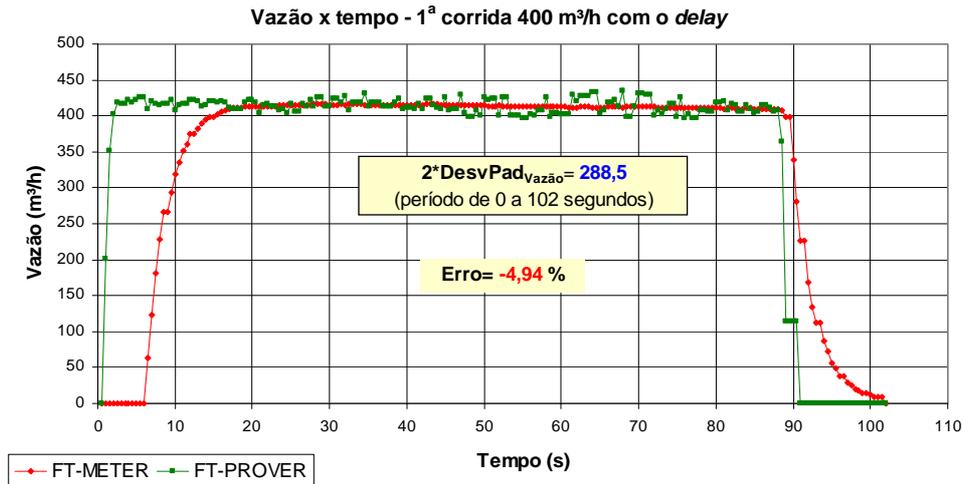
**Figura 47** — Influência no erro de medição com *delay* e sem *delay*, na vazão nominal de 300 m<sup>3</sup>/h.

Os resultados mostram que o *delay* provocado pela abertura e fechamento de válvula à montante do trecho de medição alteram significativamente os erros de medição. Mesmo escolhendo o período, o erro de medição não atendeu às especificações da OIML R-117 nas corridas 5, 7, 9, 12, 13, 14, 15 e 16. A repetitividade também não atendeu à especificação da OIML R-117, que para a classe do medidor utilizado é de até 0,40%, enquanto o valor encontrado foi de 3,43%.

### Resultados obtidos na vazão nominal de 400 m<sup>3</sup>/h

Os dados da 1º ensaio estão indicados na tabela 16 (período de 0-102 s) e na tabela 17 (período de 33,5-89 s), contidas no Anexo 1.

A Fig. 48 mostra que o atraso na contagem de pulsos do medidor ultrassônico, num tempo total de corrida de 102 s provocou um erro de -4,94%.

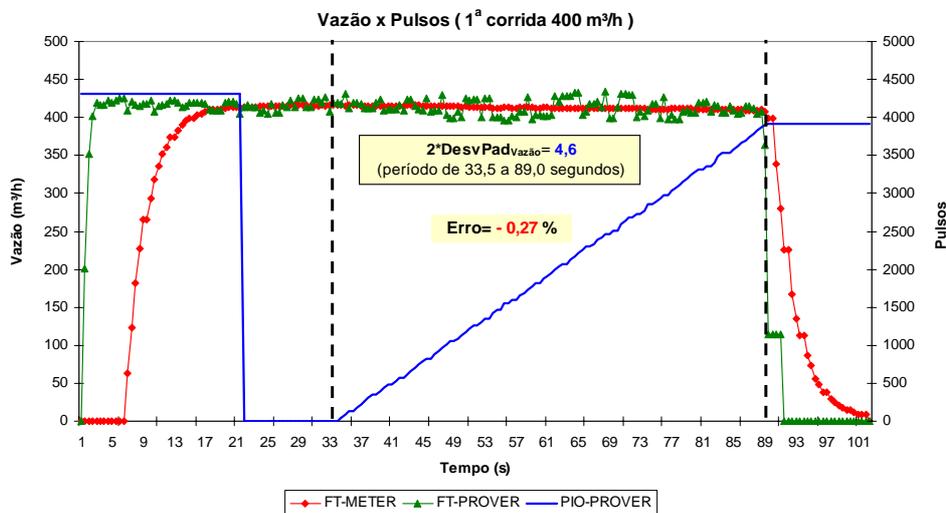


“FT METER” — Vazão no medidor ultra-sônico

“FT PROVER” — Vazão no medidor padrão do tipo deslocamento positivo

**Figura 48** — Influência do atraso na geração de pulsos do medidor ultra-sônico no erro de medição, na vazão nominal de 400 m<sup>3</sup>/h.

A Fig. 49 mostra o erro de -0,27% obtido quando o *delay* do medidor ultra-sônico foi desprezado.



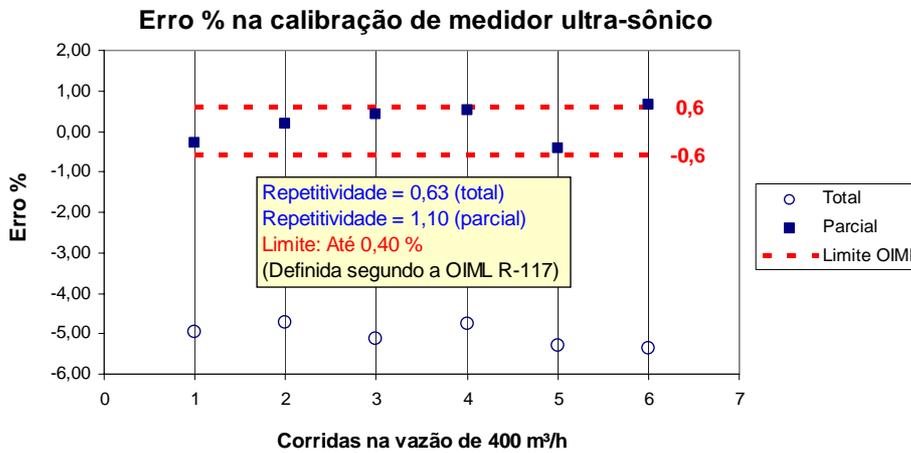
“PIO-PROVER” — Quantidades de pulsos contados no período de 33,5 a 89,0 segundos.

**Figura 49** — Influência da escolha do período de contagem de pulsos do medidor ultra-sônico no erro de medição, na vazão nominal de 400 m<sup>3</sup>/h

A tabela 9 e a Fig. 50 apresentam um resumo dos erros relativos total e parcial na 1ª corrida com vazão nominal de 400 m<sup>3</sup>/h.

**Tabela 9** — Erros total e parcial na vazão nominal de 400 m<sup>3</sup>/h

Nr. da corrida	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>
Erro relativo total (%)	-4,94	-4,73	-5,14	-4,74	-5,31	-5,36
Erro relativo parcial (%)	-0,27	0,17	0,41	0,53	-0,44	0,66



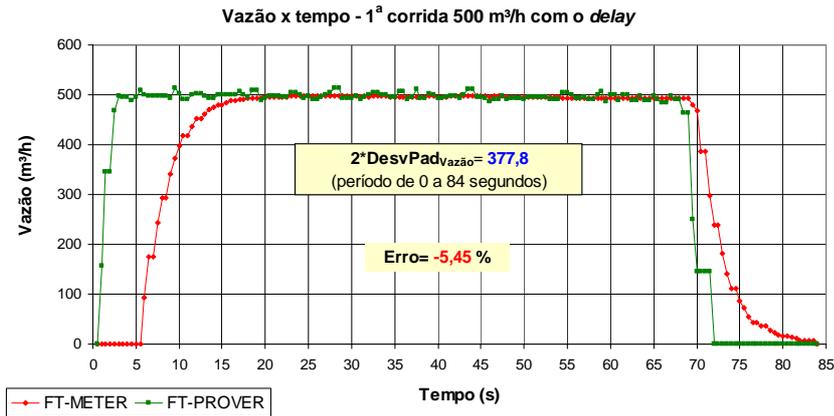
**Figura 50** — Influência no erro de medição, com *delay* e sem *delay*, na vazão nominal de 400 m<sup>3</sup>/h

Os resultados mostram que o *delay* provocado pela abertura e fechamento de válvula à montante do trecho de medição alteram significativamente os erros de medição. Diferentemente dos resultados de erros relativos parciais na vazão nominal de 300 m<sup>3</sup>/h, na vazão de 400 m<sup>3</sup>/h os erros relativos atenderam a especificação da OIML R-117 [5], como mostra a Fig. 50. Apesar disso o medidor não seria aprovado pelo critério de repetitividade da OIML (máx. 0,40% para a classe do medidor utilizado), onde o valor encontrado nas seis corridas foi de 1,10%.

### Resultados obtidos na vazão nominal de 500 m<sup>3</sup>/h

Os dados da 1º ensaio estão indicados na tabela 18 (período de 0-84 s) e na tabela 19 (período de 22,5-58,5 s), contidas no Anexo 1.

A Fig. 51 mostra a calibração nas condições com o atraso na contagem de pulsos do medidor ultra-sônico.

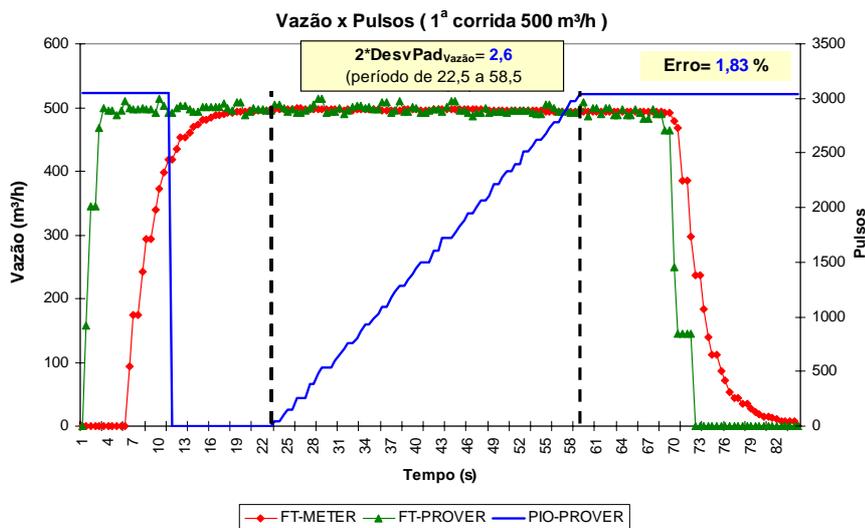


“FT METER” — Vazão no medidor ultra-sônico

“FT PROVER” — Vazão no medidor padrão do tipo deslocamento positivo

**Figura 51** — Influência do atraso na geração de pulsos do medidor ultra-sônico no erro de medição, na vazão nominal de 500 m<sup>3</sup>/h.

Fig. 52 mostra o período considerado na coleta de pulsos, desprezando o atraso do medidor ultra-sônico.



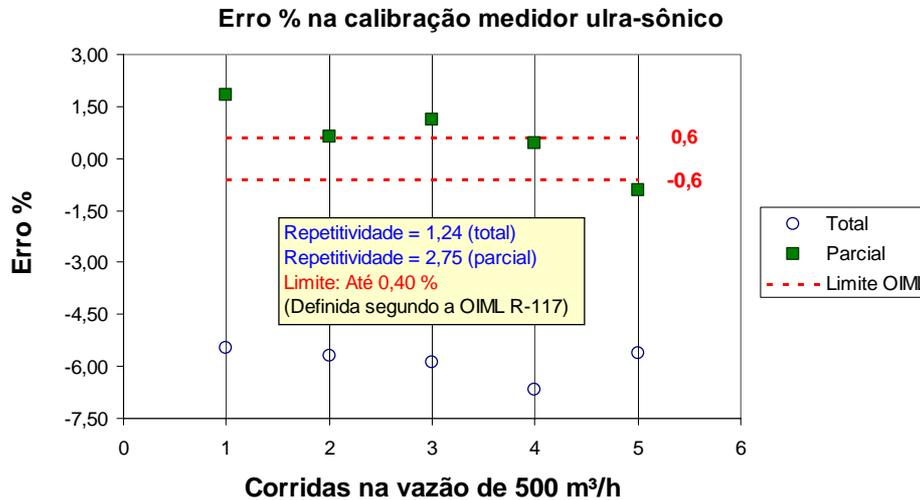
“PIO-PROVER” — Quantidades de pulsos contados no período de 22,5 a 58,5 segundos.

**Figura 52** — Influência da escolha do período de contagem de pulsos do medidor ultra-sônico no erro de medição, na vazão nominal de 500 m<sup>3</sup>/h

A tabela 10 apresenta um resumo dos erros relativos, total e parcial, na corrida com vazão nominal de 500 m<sup>3</sup>/h.

Tabela 10 — Erros total e parcial na vazão nominal de 500 m<sup>3</sup>/h

Nr. da corrida	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>
Erro relativo total (%)	-5,45	-5,70	-5,87	-6,69	-5,61
Erro relativo parcial (%)	1,83	0,63	1,11	0,45	-0,92



**Figura 53** — Influência no erro de medição, com *delay* e sem *delay*, na vazão nominal de 500 m<sup>3</sup>/h.

Os resultados mostram que o *delay* provocado pela abertura e fechamento de válvula à montante do trecho de medição alteram significativamente os erros de medição, como ilustrado na Fig. 53. Mesmo escolhendo o período, o erro de medição não atendeu às especificações da OIML R-117 nas corridas 1, 2, 3 e 5. A repetitividade também não atendeu à especificação da OIML R-117 para a classe do medidor utilizado, que é de até 0,40%, enquanto o valor encontrado foi de 2,75%.

### 4.3 Análise global dos resultados

No desenvolvimento deste item são apresentadas análises de forma distinta segundo cada observação feita sobre as influências na medição por ultra-som.

#### 4.3.1 Influência de instalações

Dois aspectos foram observados para analisar a influência das instalações. O primeiro foi a influência do comprimento de tubo reto à montante do trecho de

medição e o segundo foi a presença de acidentes (acessórios, curvas) à montante do trecho reto de medição.

#### 4.3.1.1

### Analise dos resultados do Laboratório A, Métodos-1 e 2.

#### 1. Método-1

Os resultados indicados pelas Fig. 31 e 32 mostraram que utilizando-se 40 diâmetros de trecho de tubo reto à montante do medidor, os erros de medição variaram em torno da linha de base (erro=0%) e atenderam satisfatoriamente os limites para a classe de exatidão 0,3 da OIML R-117, que é de  $\pm 0,2\%$ .

Tal como a exatidão, a repetitividade do medidor apresentou resultados satisfatórios, quando utilizados comprimentos de tubo reto correspondente a 40 diâmetros nominais à montante do trecho de medição, conforme indicado na Fig. 32. Pode-se afirmar com base no princípio de medição ultra-sônica pela técnica de tempo de trânsito que isso se deve ao fato de que esses tubos retos à montante permitem o completo desenvolvimento do escoamento, o que é favorável para esta tecnologia que se baseia na velocidade axial média na seção transversal para realizar a medição de vazão.

#### 2. Método-2

Nos ensaios C2T1, C2T2, C2T3 e C2T4, nota-se através das Fig. 33, 35, 37 e 39, que a exatidão na calibração foi afetada quando o medidor foi instalado num sistema com curvas imediatamente à montante do trecho de medição.

Observa-se que comparativamente, da Fig. 31 para as Fig. 33, 35, 37 e 39, ocorreu um erro sistemático de +0,11% entre o erro relativo médio do ensaio C1T1 e o erro relativo médio dos demais ensaios do Método-2.

Do mesmo modo, percebe-se que a presença de acidentes à montante interfere negativamente nos resultados de repetitividade, quando comparamos a Fig. 32 contra as Fig. 34, 36, 38 e 40.

Podemos concluir neste caso que a exatidão e a repetitividade foram influenciadas pelos acidentes à montante no Laboratório A. Todavia observa-se também através dos resultados de cada ensaio, que tanto os erros relativos quanto

a repetitividade atendem aos requisitos da OIML R-117 (erro máximo admissível=  $\pm 0,2\%$  e repetitividade=  $0,12\%$  máximo).

#### 4.3.1.2

##### **Análise dos resultados do Laboratório B, Método-3**

Os resultados obtidos no Laboratório B e indicados pelas Fig. 43 e 44 mostraram que a presença de acidentes à montante do trecho de medição afetam significativamente a exatidão e a repetitividade na calibração de medidores ultrassônicos do tipo tempo de trânsito. Diferentemente do Laboratório A, os resultados obtidos no Laboratório B não atenderam às exigências da OIML R-117 para a classe 0,3 (erros máximos admissíveis=  $\pm 0,2\%$  e repetitividade=  $0,12\%$  máximo).

#### 4.3.1.3

##### **Análise dos resultados - Lab. A e Métodos-1 e 2 x Lab. B Método-3**

Analisando os resultados obtidos nos Laboratórios A e B, quando comparou-se o Método-1 (40 diâmetros de tubo reto à montante do medidor) contra o Método-2 (10 diâmetros de tubo reto à montante do medidor) pode-se evidenciar a influência do comprimento de tubo reto à montante do medidor sobre a sua exatidão e repetitividade. Observa-se ainda que no caso do Método-2 as curvas muito próximas ao trecho de medição podem estar causando distorções no escoamento, o que afeta o fator de distribuição do perfil de velocidade ( $k_h$ ), utilizado para cálculo da velocidade axial média do fluido  $\bar{v}_a$ , que por sua vez é utilizada no cálculo da vazão, conforme Eq. 1.

Uma outra conclusão a que se pode chegar é que as diferenças entre os resultados dos ensaios do Método-2 no Laboratório A diferem dos resultados do Método-3 do Laboratório B, pelo fato de que no primeiro a curva do tipo joelho  $90^\circ$  imediatamente à montante do trecho de medição está no mesmo plano que este trecho, enquanto que no segundo, a curva é do tipo longa e está em plano perpendicular ao trecho de medição. Para comprovar esta hipótese seria necessária a realização de mais ensaios.

### 4.3.2 Influência do procedimento de calibração

Para a análise da influência deste fator devemos considerar apenas a comparação entre os seguintes ensaios:

- a) C2T1 e C2T2;
- b) C2T3, C2T4 e o ensaio do Laboratório B, Método-3.

Os procedimentos de cada ensaio, realizado no Laboratório A, Método-1 e Método-2 e, Laboratório B, Método-3, para análise desse fator estão descritos nos subitens “a” e “b” abaixo:

- a) Ensaio utilizando válvula para início de uma corrida a partir do fluido em repouso (regime transiente de vazão). Os ensaios que adotaram este procedimento foram: C2T1 e C2T3 do Laboratório A e o ensaio do Laboratório B, Método-3 e;
- b) Ensaio utilizando um divisor para início de uma corrida a partir de um sistema em fluxo contínuo (regime permanente). Os ensaios realizados com este procedimento foram: C1T1, C2T2 E C2T4.

A Fig. 41 apresenta o efeito no perfil de escoamento causado pelo procedimento de partida e término de uma corrida em condições de escoamento transiente. A Fig. 42 mostra um perfil de velocidade estabilizado no intervalo entre o início e final de uma corrida. Os efeitos desses comportamentos podem ser vistos com maiores detalhes na análise dos ensaios no Laboratório B, Método-4.

Analisando os ensaios do Método-2 pode-se observar que os diferentes procedimentos de calibração (ver tabela 2) não apresentaram diferença significativa entre os valores de erro relativo, como mostram as Fig. 33, 35, 37 e 39 e de repetitividade, conforme mostrado nas Fig. 34, 36, 38 e 40. Observa-se ainda que nos dois casos os valores de erro relativo e repetitividade atendem aos requisitos da OIML R-117.

Semelhantemente, analisando os ensaios C2T3 e C2T4, observa-se que os resultados do Laboratório A se assemelham em termos de erro relativo e repetitividade. Pode-se perceber ainda, com base nas Fig. 38, 40 e 44, que a repetitividade em relação aos ensaios C2T1 e C2T2 apresentaram maior dispersão, tendo inclusive, no caso do ensaio do Laboratório B, uma indicação de reprovação

pelos critérios da OIML R-117. Esse aumento na dispersão de C2T3 e C2T4 em relação à C2T1 e C2T2 pode estar relacionado à influência do volume provado.

Concluindo, não se pode afirmar com base na comparação dos ensaios C2T1 e C2T2 e, C2T3 e C2T4, que haja alguma influência do transiente de vazão na exatidão e repetitividade de uma calibração. Considerando ainda que os ensaios C2T3 e C2T4 foram realizados nas mesmas condições do ensaio do Laboratório B, Método-3, e que neste último ocorreu um erro sistemático de até 0,69% em relação ao C2T3 e ao C2T4, não podemos afirmar a influência deste fator com base nestes ensaios.

A influência do transiente numa corrida de calibração está sendo tratada com maior ênfase na análise dos resultados dos ensaios realizados no Laboratório B, pelo Método-4.

### **4.3.3 Influência do volume provado**

Um resumo das análises realizadas para cada método de calibração esta descrito a seguir.

#### **4.3.3.1 Análise dos resultados do Lab. A Métodos-1 e 2.**

Os resultados dos ensaios C1T1 (Método-1), C2T1 (Método-2) e C2T2 (Método-2), utilizando o mesmo volume provado ( $15\text{m}^3$ ) apresentaram erros sistemáticos e diferentes níveis de repetitividade, conforme mostrado nas Fig. 31 à Fig. 35.

Quando comparamos C2T1 com C2T3, que operaram segundo o mesmo procedimento e com volumes provados de  $15\text{m}^3$  e  $5\text{m}^3$ , respectivamente, observa-se que tanto os erros relativos (Fig. 33 e Fig. 37) quanto a repetitividade (Fig. 34 e Fig. 38) estão apresentando variações semelhantes e dentro dos limites da OIML R-117 para essas duas características metrológicas.

Pode-se adotar a mesma análise feita para os ensaios C2T1 e C2T3, quando comparamos os ensaios C2T2 e C2T4, que operaram segundo o mesmo procedimento e com volumes provados de  $15\text{m}^3$  e  $5\text{m}^3$ , respectivamente.

Finalmente, se observarmos os resultados do Laboratório A, considerando apenas as diferenças entre volumes provados, não poderemos concluir que essas diferenças afetaram a exatidão e a repetitividade da calibração.

#### 4.3.3.2

#### **Análise dos resultados – Lab. A Método-2 x Lab. B Método-3**

É sempre bom lembrar que no Método-2 foram realizados ensaios com as seguintes condições:

- a) Ensaio C2T1, volume provado  $15 \text{ m}^3$ ;
- b) Ensaio C2T2, volume provado  $15 \text{ m}^3$ ;
- c) Ensaio C2T3, volume provado  $5 \text{ m}^3$ ;
- d) Ensaio C2T4, volume provado  $5 \text{ m}^3$ ;

Quando comparamos o ensaio C2T3 do Laboratório A, com o ensaio realizado no Laboratório B observamos que apesar de terem sido feitos com instalações e procedimentos semelhantes e ainda volumes provados de  $5 \text{ m}^3$ , os erros relativos (Fig. 37 e Fig. 43) e a repetitividade (Fig. 38 e Fig. 44) se apresentaram de maneiras distintas. Pode-se observar um erro sistemático entre os Laboratórios de até 0,69% na vazão de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ . Enquanto que no ensaio do Laboratório A os resultados atenderam às exigências da OIML R-117, no Laboratório B os resultados apresentados reprovavam o medidor.

Embora a literatura indique que a calibração com volumes provados diferentes afetem a repetitividade, com base nestes resultados, não podemos comprovar essa influência.

A análise acima descarta a possibilidade de compararmos os ensaios C2T1 e o ensaio do Laboratório B, que foram realizados segundo instalações e procedimentos semelhantes, mas com volumes provados de  $15 \text{ m}^3$  e  $5 \text{ m}^3$ , respectivamente.

#### 4.3.4

#### **Influência do atraso na geração de sinal (*delay*)**

O *delay* é um atraso nos pulsos de saída de um medidor ultra-sônico, que podem provocar um erro sistemático e uma baixa repetitividade entre as corridas de calibração.

Para análise da influência deste fator foram observados apenas os ensaios realizados no Laboratório B, Método-4, nas vazões de 300 m<sup>3</sup>/h, 400 m<sup>3</sup>/h e 500 m<sup>3</sup>/h.

As Fig. 45, 48 e 51 apresentam as curvas de vazão típicas apresentadas pelos medidores ultra-sônico (*FT-METER*) e o padrão (*FT-PROVER*). O medidor padrão utilizado foi um do tipo deslocamento positivo, do tipo lóbulo.

As Fig. 46, 49 e 52 mostram o número de pulsos coletados em cada corrida de calibração, bem como o intervalo em que a contagem de pulsos ocorreu.

As Fig. 47, 50 e 53 mostram o erro sistemático entre as condições de calibração (com *delay* e sem *delay*).

Observa-se que, apesar do laboratório B possuir instalações adequadas para calibração de medidores de vazão de volumétrica de líquidos, ele não garante a eliminação do *delay* numa corrida típica de calibração, por exemplo, pelo Método-3.

#### 4.3.4.1

##### Observações relevantes sobre as Fig. 45, 48 e 51

Com base nas Fig. 45, 48 e 51

- a) Observa-se que para as três vazões o *delay* ocorre do instante zero a vinte segundos, aproximadamente;
- b) Observa-se que há uma tendência negativa do erro relativo;
- c) Observa-se um elevado desvio padrão, quando comparado a condição sem o *delay*, causado pela variação na vazão;
- d) Observa-se na presença do *delay* numa corrida de calibração, que quanto maior o tempo de corrida, menores são os erros relativos e o desvio padrão da vazão;
- e) Observa-se por fim, que o *delay* gera efeitos no início e no final da corrida.

#### 4.3.4.2

##### Observações relevantes sobre as Fig. 46, 49 e 52

Observou-se nas três vazões de calibração, que os erros relativos melhoraram significativamente, quando estabelecido um intervalo de tempo tal em que o *delay* foi desprezado;

#### 4.3.4.3

#### Observações relevantes sobre as Fig. 47, 50 e 53

- a) Observa-se que há um erro sistemático com tendência negativa dos resultados obtidos a partir do tempo total de corrida em relação ao tempo parcial;
- b) Observa-se que os erros relativos médios nas três vazões (0,2 ; 0,2 ; 0,6) sem o *delay* atenderiam ao erro máximo admissível de  $\pm 0,6$  para a classe 1 da OIML R-117;
- c) Observa-se que mesmo sem a presença do fator *delay* os resultados de repetitividade não atenderam os limites da OIML R-117;

#### 4.3.5

#### Outras observações relevantes

O número de pulsos coletados para cada corrida não foi suficiente para atender às recomendações do API MPMS 4.8 para calibração com medidor padrão (*master meter*) e API MPMS 4.5, devido à limitação de reciclo do fluido no sistema de calibração utilizado.

No Capítulo 5, a seguir estão contidas as conclusões desta pesquisa e as recomendações pertinentes.