

Guia RELACRE

26

CÁLCULO DA INCERTEZA NA

.....
CALIBRAÇÃO DE CONTADORES DE ÁGUA

.....
PELO MÉTODO VOLUMÉTRICO

COMISSÕES
TÉCNICAS



RELACRE

ASSOCIAÇÃO DE LABORATÓRIOS
ACREDITADOS DE PORTUGAL

FICHA TÉCNICA




TÍTULO:

Guia RELACRE 26

Cálculo da Incerteza na
Calibração de Contadores de Água
pelo Método Volumétrico

EDIÇÃO: RELACRE

ISBN: 978-972 8574-34-5



Guia RELACRE 26

EDIÇÃO: AGOSTO 2014

CÁLCULO DA INCERTEZA NA

CALIBRAÇÃO DE CONTADORES DE ÁGUA


PELO MÉTODO VOLUMÉTRICO

COMISSÕES
TÉCNICAS



RELACRE

ASSOCIAÇÃO DE LABORATÓRIOS
ACREDITADOS DE PORTUGAL



Este documento foi elaborado pelo Grupo de Trabalho **GT10**

CONTADORES DE FLUIDOS

DA COMISSÃO TÉCNICA RELACRE **CTR04**


METROLOGIA

O conteúdo deste documento é da responsabilidade dos especialistas, membros da referida CTR, que colaboraram na sua elaboração.

É intenção da RELACRE proceder à revisão deste documento sempre que se revele oportuno.

Na elaboração da presente edição colaboraram:

Elsa Batista (<i>Coordenadora</i>)	IPQ
Miguel Fernandes	EPAL
Pedro Levezinho	EPAL
Vitor Rocha	EPAL
Nelson Almeida	IPQ
Ricardo Silva	JANZ
Teresa Castro	RESOPRE



ÍNDICE

1	OBJETIVO E ÂMBITO	7
2	REFERÊNCIAS	7
3	DEFINIÇÕES	7
3.1	Definições de carácter geral	7
3.2	Definições de carácter metrológico	8
3.3	Definições de carácter estatístico	8
4	AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO	9
5	PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DA INCERTEZA NA CALIBRAÇÃO DE CONTADORES DE ÁGUA PELO MÉTODO VOLUMÉTRICO	10
5.1	Modelo matemático	10
5.2	Descrição dos componentes de incerteza das grandezas de entrada	10
5.3	Incertezas-padrão de cada grandeza de entrada	10
5.3.1	Incerteza do recipiente padrão	10
5.3.2	Incerteza da resolução do recipiente padrão	11
5.3.3	Temperatura da água	11
5.3.4	Resolução do contador ensaiado	12
5.3.5	Variação do caudal de ensaio	12
5.3.6	Repetibilidade do ensaio	12
5.4	Coefficientes de sensibilidade de cada grandeza de entrada	13
5.4.1	Incerteza do recipiente padrão	13
5.4.2	Incerteza da resolução do recipiente padrão	13
5.4.3	Temperatura da água	13
5.4.4	Resolução do contador ensaiado	13
5.4.5	Variação do caudal de ensaio	13
5.4.6	Repetibilidade do ensaio	13
5.5	Avaliação de covariâncias	14
5.6	Cálculo da incerteza-padrão combinada	14

5.7 Determinação do fator de expansão	14
5.8 Determinação da incerteza de medição expandida	15
6 EXEMPLO NUMÉRICO	15
6.1 Cálculo das incertezas-padrão	15
6.1.1 Incerteza do recipiente padrão	15
6.1.2 Incerteza da resolução do recipiente padrão	15
6.1.3 Temperatura da água	15
6.1.4 Resolução do contador ensaiado	16
6.1.5 Variação do caudal de ensaio	16
6.1.6 Repetibilidade do ensaio	17
6.2 Cálculo dos coeficientes de sensibilidade	17
6.2.1 Incerteza do recipiente padrão	17
6.2.2 Incerteza da resolução do recipiente padrão	17
6.2.3 Temperatura da água	17
6.2.4 Resolução do contador ensaiado	17
6.2.5 Variação do caudal de ensaio	17
6.2.6 Repetibilidade do ensaio	18
6.3 Cálculo da incerteza-padrão combinada	18
6.4 Cálculo do coeficiente de expansão	18
6.5 Cálculo da incerteza de medição expandida	18
ANEXO I - Folha de cálculo referente á determinação da variação do caudal de ensaios.	19

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O principal objetivo deste guia é fornecer informação detalhada e rigorosa que permita determinar de forma clara e inequívoca a incerteza associadas à calibração de contadores de água pelo método volumétrico.

Este guia foi desenvolvido pelo GT 10 - Contadores de Fluidos da RELACRE e descreve os procedimentos de cálculo utilizados na determinação da incerteza associada à calibração de contadores de água pelo método volumétrico, tendo por base o documento JCGM100:2008 “Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)”.

2 REFERÊNCIAS

NP EN 14154-1 Contadores de água – Parte 1: Especificações

NP EN 14154-3 Contadores de água – Parte 3: Métodos e equipamento de ensaio

NP 2938 - Contadores de água limpa, para uso doméstico, comercial ou da indústria ligeira. Verificações metrológicas

JCGM100:2008 - “Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement” (GUM)

VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia - Termos Fundamentais e Gerais, Instituto Português da Qualidade, Edição Luso-Brasileira, 2012

EA-4/02 – Expression of uncertainty of measurement in calibration

3 DEFINIÇÕES

3.1 DEFINIÇÕES DE CARÁCTER GERAL

Contador de água

Instrumento utilizado para medir, totalizar e indicar o volume, nas condições de medição, da água que passa através do transdutor de medição.

Caudal de ensaio

Caudal médio durante um ensaio, calculado a partir das indicações dum dispositivo de referência calibrado. Quociente entre o volume de água que passa pelo contador e o tempo de passagem desse mesmo volume no contador.

Calibre do contador

O calibre do contador é caracterizado pelo diâmetro nominal (DN).

Diâmetro nominal

Designação alfanumérica do calibre para componentes dum sistema de tubagem, a qual é usada para fins de referência. Compreende as letras DN seguidas de um número inteiro adimensional, o qual é indiretamente relacionado com a dimensão física, em mm, do diâmetro interior de passagem ou do diâmetro exterior da ligação.

Volume passado

Volume total de água que passa através do contador, independentemente do tempo decorrido. Esta grandeza constitui a mensuranda.

Erro de medição

Diferença entre o valor medido de uma grandeza (volume indicado pelo contador) e um valor de referência (volume real, lido num dispositivo de referência).

Deriva instrumental

Variação da indicação ao longo do tempo, continua ou incremental, devida a variações nas propriedades metrológicas dum instrumento de medição.

3.2 DEFINIÇÕES DE CARÁCTER METROLÓGICO

Adotam-se as definições constantes no Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), edição Luso-Brasileira de 2012.

3.3 DEFINIÇÕES DE CARÁCTER ESTATÍSTICO

Incerteza

Padrão não negativo que caracteriza a dispersão dos valores da grandeza que são atribuídos à mensuranda, com base nas informações utilizadas.

Incerteza-padrão

Incerteza de medição expressa na forma de um desvio-padrão.

Avaliação de tipo A da incerteza de medição

Avaliação de uma componente da incerteza de medição por uma análise estatística dos valores medidos, obtidos sob condições definidas de medição.

Avaliação de tipo B da incerteza de medição

Avaliação de uma componente da incerteza de medição determinada por meios diferentes daqueles adotados para uma avaliação de tipo A da incerteza de medição.

Incerteza-padrão combinada

Incerteza-padrão obtida ao se utilizarem incertezas-padrão individuais associadas às grandezas de entrada num modelo de medição.

Incerteza de medição expandida

Produto de uma incerteza-padrão combinada por um factor maior do que o número um.

Fator de expansão

Número maior do que um pelo qual a incerteza-padrão combinada é multiplicada para se obter uma incerteza de medição expandida.

4 AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Neste guia a avaliação da incerteza de medição segue a metodologia descrita no GUM. Essa metodologia consiste nos seguintes passos:

- Expressar em termos matemáticos a dependência da mensuranda Y em relação às grandezas de entrada X_i ;
- Determinar os valores de cada grandeza de entrada;
- Determinar o valor da grandeza de entrada;
- Listar todas os componentes de incerteza das grandezas de entrada;
- Avaliar o tipo de incerteza (A ou B);
- Calcular a incerteza-padrão para de cada componente da incerteza;
- Calcular os respectivos coeficientes de sensibilidade;
- Avaliar a necessidade de cálculo de covariâncias;
- Calcular a incerteza-padrão combinada;
- Calcular o fator de expansão k ;
- Determinar a incerteza de medição expandida

5 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DA INCERTEZA NA CALIBRAÇÃO DE CONTADORES DE ÁGUA PELO MÉTODO VOLUMÉTRICO

5.1 MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático utilizado na calibração de contadores é o seguinte:

$$\varepsilon = \frac{V_i - V_a}{V_a} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

ε – erro relativo em %

V_i – Volume indicado no contador

V_a – Volume real do padrão

5.2 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DE INCERTEZA DAS GRANDEZAS DE ENTRADA

As componentes de incertezas associadas à calibração de contadores de água são os seguintes:

- Incerteza associada ao recipiente padrão;
- Resolução do recipiente padrão;
- Temperatura da água;
- Resolução do contador ensaiado;
- Repetibilidade do ensaio;
- Variação do caudal de ensaio.

5.3 INCERTEZAS-PADRÃO DE CADA GRANDEZA DE ENTRADA

Seguidamente serão apresentadas as diferentes expressões dessas incertezas:

5.3.1 INCERTEZA DO RECIPIENTE PADRÃO

Poderá ser utilizado o valor indicado no certificado de calibração do recipiente e a deriva ou o Erro Máximo Admissível (EMA) do recipiente.

$$u(rec) = \left[\left(\frac{u(rec)}{k} \right)^2 + \left(\frac{\delta rec}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (L) \quad (2)$$

Onde:

δrec – Deriva após calibração do recipiente, em L

Ou

$$u(rec) = \left[\left(\frac{EMA}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{L}) \quad (3)$$

Em geral, se o certificado de calibração do recipiente padrão é baseado numa distribuição normal das medições, com um grande número de graus de liberdade, o fator de expansão será $k=2$.

5.3.2 INCERTEZA DA RESOLUÇÃO DO RECIPIENTE PADRÃO

Deve ser considerada como fonte de incerteza metade do valor da resolução do recipiente padrão, assumindo uma distribuição retangular.

$$u(resr) = \left[\left(\frac{resr/2}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{L}) \quad (4)$$

Onde:

resr – resolução do recipiente padrão, em L

5.3.3 TEMPERATURA DA ÁGUA

O aumento/diminuição do volume devido à diferença entre a temperatura de referência da água na calibração do recipiente calibrado padrão e da temperatura da água no ensaio deve ser contabilizado como fonte de incerteza.

$$u(t) = \left[\left(\frac{V_{20} - V_a}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{L}) \quad (5)$$

Onde:

V_{20} – Volume do recipiente a 20 °C, em L

V_a – volume à temperatura de ensaio, em L

t – temperatura de ensaio, em °C

O volume à temperatura de ensaio (t) pode ser determinado através da seguinte equação:

$$V_a = V_{20} [1 + \gamma(t - 20)] \quad (6)$$

Onde:

γ - é o coeficiente da expansão térmica cúbico do material de que é constituído o instrumento volumétrico a calibrar, em graus célsios recíprocos

5.3.4 RESOLUÇÃO DO CONTADOR ENSAIADO

Deve ser considerada como fonte de incerteza metade do valor da resolução do contador ensaiado, assumindo uma distribuição retangular.

$$u(\text{resc}) = \left[\left(\frac{\text{resc}/2}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{L}) \quad (7)$$

Onde:

resc – resolução do contador ensaiado, em L

No caso de o contador ser analógico poderá ser utilizada a melhor divisão lida pelo laboratório.

5.3.5 VARIAÇÃO DO CAUDAL DE ENSAIO

A variação do caudal entre ensaios repetidos para a determinação de um erro médio, influencia o erro relativo de cada ensaio. O erro em volume obtido devido a essa variação deve ser contabilizado como fonte de incerteza.

$$u(\Delta C) = \left[\left(\frac{\varepsilon V}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{L}) \quad (8)$$

Onde:

ΔC – Variação do caudal entre ensaios repetidos

εV - Erro em volume obtido pela variação do caudal, em L

5.3.6 REPETIBILIDADE DO ENSAIO

A equação (10) é uma expressão possível para este componente de incerteza do tipo A:

$$u(\text{Rep}) = \frac{s(\varepsilon)}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

Onde:

$s(\varepsilon)$ - desvio padrão dos erros relativos, em %

n - número de medições

Recomenda-se a realização de 5 ensaios, no entanto no mínimo deverão ser realizados 3 ensaios.

5.4 COEFICIENTES DE SENSIBILIDADE DE CADA GRANDEZA DE ENTRADA

O coeficiente de sensibilidade de cada grandeza de entrada corresponde à derivada parcial da função modelo em relação a cada grandeza de entrada. Para cada grandeza de entrada, apresentam-se os resultados do cálculo dos coeficientes de sensibilidade baseado na equação (1).

5.4.1 INCERTEZA DO RECIPIENTE PADRÃO

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial rec} \right) = \frac{V_i}{V_a^2} \times 100 \quad (10)$$

5.4.2 INCERTEZA DA RESOLUÇÃO DO RECIPIENTE PADRÃO

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial resr} \right) = \frac{V_i}{V_a^2} \times 100 \quad (11)$$

5.4.3 TEMPERATURA DA ÁGUA

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right) = \frac{V_i}{V_a^2} \times 100 \quad (12)$$

5.4.4 RESOLUÇÃO DO CONTADOR ENSAIADO

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial resc} \right) = \frac{1}{V_a} \times 100 \quad (13)$$

5.4.5 VARIAÇÃO DO CAUDAL DE ENSAIO

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \Delta C} \right) = \frac{1}{V_a} \times 100 \quad (14)$$

5.4.6 REPETIBILIDADE DO ENSAIO

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \varepsilon_{rep}} = 1 \quad (15)$$

5.5 AVALIAÇÃO DE COVARIÂNCIAS

Não existem covariâncias associadas à determinação de incerteza na calibração de contadores de água.

5.6 CÁLCULO DA INCERTEZA-PADRÃO COMBINADA

Aplicando a lei de propagação de incertezas, a incerteza-padrão combinada pode ser obtida através a seguinte equação geral:

$$u^2(\varepsilon) = \sum_i \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \times u(x_i) \right)^2 \quad (16)$$

Utilizando as equações determinadas na secção 5.3 o resultado da incerteza-padrão combinada é o seguinte:

$$u(\varepsilon) = \left[\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial rec} \right)^2 u^2(rec) + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial resr} \right)^2 u^2(resr) + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right)^2 u^2(t) + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial resc} \right)^2 u^2(resc) + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \Delta C} \right)^2 u^2(\Delta C) + u^2(\delta\varepsilon_{rep}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

5.7 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE EXPANSÃO

Para se obter o fator de expansão (k) adequado à incerteza-padrão combinada e que corresponde a uma determinada probabilidade é necessário determinar os graus de liberdade efetivos, através da fórmula de Welch-Satterthwaite:

$$v_{eff} = \frac{u_{\varepsilon}^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{v_i}} \quad (18)$$

Através da tabela baseada numa distribuição de *t-student* avaliada para uma probabilidade de 95 %, determina-se assim o fator de expansão (k).

n_{ef}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

5.8 DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO EXPANDIDA

Com o valor do fator de expansão e da incerteza-padrão combinada da mensuranda, a incerteza de medição expandida é expressa por:

$$U = k \times u(\varepsilon) \quad (19)$$

6 EXEMPLO NUMÉRICO

De forma a se aplicarem valores numéricos ao procedimento de cálculo de incerteza descrito anteriormente, foi calibrado um contador volumétrico DN 15 com resolução de 0,1 L, ao caudal de 2500 L/h, para uma temperatura de 24 °C, tendo sido utilizado um recipiente graduado de 100 L. O volume indicado no contador foi de 100,666 L, o volume real foi de 101,133 L. O erro identificado do contador ao caudal ensaiado foi de -0,46 %.

6.1 CÁLCULO DAS INCERTEZAS-PADRÃO

Os cálculos das incertezas padrão foram determinados da seguinte forma:

6.1.1 INCERTEZA DO RECIPIENTE PADRÃO

Foi utilizado o Erro Máximo admissível do Recipiente de 100 L e que corresponde a 0,01 L de acordo com as especificações do laboratório.

$$u(\text{rec}) = \left[\left(\frac{EMA}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} = \left[\left(\frac{0,01}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,0057 \text{ L}$$

6.1.2 INCERTEZA DA RESOLUÇÃO DO RECIPIENTE PADRÃO

A resolução do recipiente de 100 L utilizado é de 0,1 L.

$$u(\text{resr}) = \left[\left(\frac{\text{resr}/2}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} = \left[\left(\frac{0,1/2}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,0288 \text{ L}$$

6.1.3 TEMPERATURA DA ÁGUA

Os ensaios foram realizados a 24 °C pelo que o volume real é de 101,133 L

$$u(t) = \left[\left(\frac{V_{20} - V_a}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} = \left[\left(\frac{100,927 - 101,133}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,119 \text{ L}$$

6.1.4 RESOLUÇÃO DO CONTADOR ENSAIADO

A resolução do contador ensaiado é de 0,1 L, mas o laboratório consegue ler uma divisão de 0,02 L.

$$u(resc) = \left[\left(\frac{resc/2}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} = \left[\left(\frac{0,02/2}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,0057 \text{ L}$$

6.1.5 VARIAÇÃO DO CAUDAL DE ENSAIO

Considerando três intervalos de caudais que caracterizam a curva de erros metrológicos, identificados no gráfico 1 e tendo em conta a variação máxima de 10 % de caudal médio é possível determinar a variação do erro ao caudal ensaiado. Neste caso específico, o caudal ensaiado encontra-se no intervalo 3, pelo que através da equação de erro é possível determinar a variação de erro em %. Considerando que o volume passado no contador foi de 100 L é possível converter a variação de erro em volume e que corresponde a 0,166 L (ver anexo I).

$$u(\Delta C) = \left[\left(\frac{\varepsilon V}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} = \left[\left(\frac{0,166}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,0958 \text{ L}$$

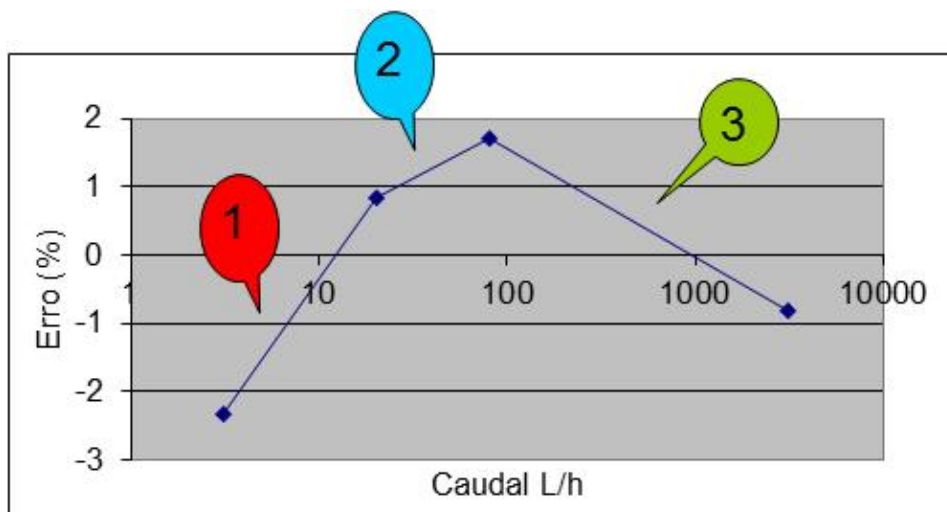


Gráfico 1 – Curva de erros

6.1.6 REPETIBILIDADE DO ENSAIO

Foram realizados 3 ensaios com um desvio padrão de 0,08 L.

$$u(\text{Rep}) = \frac{s(\varepsilon)}{\sqrt{n}} = \frac{0,08}{\sqrt{3}} = 0,046 \text{ L}$$

6.2 CÁLCULO DOS COEFICIENTES DE SENSIBILIDADE

O volume indicado no contador (V_i) foi de 100,666 L, o volume real (V_a) foi de 101,133 L, os cálculos dos coeficientes de sensibilidade foram determinados da seguinte forma:

6.2.1 INCERTEZA DO RECIPIENTE PADRÃO

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \text{rec}} \right) = \frac{V_i}{V_a^2} \times 100 = \frac{100,666}{101,133^2} \times 100 = 0,984 / \text{L}$$

6.2.2 INCERTEZA DA RESOLUÇÃO DO RECIPIENTE PADRÃO

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \text{resr}} \right) = \frac{V_i}{V_a^2} \times 100 = \frac{100,666}{101,333^2} \times 100 = 0,984 / \text{L}$$

6.2.3 TEMPERATURA DA ÁGUA

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right) = \frac{V_i}{V_a^2} \times 100 = \frac{100,666}{101,333^2} \times 100 = 0,984 / \text{L}$$

6.2.4 RESOLUÇÃO DO CONTADOR ENSAIADO

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \text{resc}} \right) = \frac{1}{V_a} \times 100 = \frac{1}{101,133} \times 100 = 0,988 / \text{L}$$

6.2.5 VARIAÇÃO DO CAUDAL DE ENSAIO

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \Delta C} \right) = \frac{1}{V_a} \times 100 = \frac{1}{101,133} \times 100 = 0,988 / \text{L}$$

6.2.6 REPETIBILIDADE DO ENSAIO

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \varepsilon_{rep}} = 1$$

6.3 CÁLCULO DA INCERTEZA-PADRÃO COMBINADA

A incerteza combinada é determinada da seguinte forma:

$$\begin{aligned} u(\varepsilon) &= \left[\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial rec} \right)^2 u^2(rec) + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial resr} \right)^2 u^2(resr) + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right)^2 u^2(t) + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial resc} \right)^2 u^2(resc) + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \Delta C} \right)^2 u^2(\Delta C) + u^2(\delta \varepsilon_{rep}) \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left[(0,984)^2 \times (0,0057)^2 + (0,984)^2 \times (0,0288)^2 + (0,984)^2 \times (0,119)^2 + (0,988)^2 \times (0,0057)^2 + (0,988)^2 \times (0,958)^2 + (0,046)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &= 0,16 \text{ L} \end{aligned}$$

6.4 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE EXPANSÃO

Para calcular o fator de expansão (k) é necessário fazer a estimativa do número de graus de liberdade, ν_{ef} , usando a fórmula de Welch-Satterthwaite (18):

$$\begin{aligned} \nu_{ef}(\varepsilon) &= \frac{u_{\varepsilon}^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{\nu_i}} = \frac{u_{\varepsilon}^4}{\frac{u^4(rec)}{\nu(rec)} + \frac{u^4(resr)}{\nu(resr)} + \frac{u^4(t)}{\nu(t)} + \frac{u^4(resc)}{\nu(resc)} + \frac{u^4(\Delta C)}{\nu(\Delta C)} + \frac{u^4(\varepsilon_{rep})}{\nu(\varepsilon_{rep})}} \\ \nu_{ef}(V_{20}) &= \frac{3,61 \times 10^{-7}}{\frac{1,11 \times 10^{-09}}{50000} + \frac{6,94 \times 10^{-07}}{50000} + \frac{1,9 \times 10^{-03}}{50000} + \frac{1,11 \times 10^{-09}}{50000} + \frac{8,43 \times 10^{-05}}{50000} + \frac{4,55 \times 10^{-06}}{2}} \end{aligned}$$

$\nu_{ef}(\varepsilon) = 32$, o que corresponde a um coeficiente de expansão $k = 2,03$ e uma probabilidade de aproximadamente 95%.

6.5 CÁLCULO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO EXPANDIDA

A incerteza de medição expandida é dada por: $U = k \times u(\varepsilon) = 2,03 \times 0,16 = 0,33 \text{ L}$ ou 0,33 %

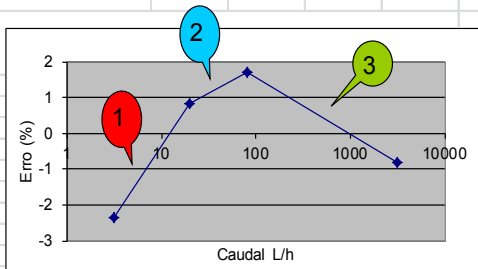
ANEXO I - FOLHA DE CÁLCULO REFERENTE À DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DO CAUDAL DE ENSAIOS.

Este exemplo aplica-se a contadores Q3=2,5 m³/h, com Intervalo de Medição até R800.

Q3	2500	2500	2500	2500	Caudal	Erro	Variação erro
Intervalo de medição	800	400	315	200	3,125	-2,34	
Q1	3,125	6,25	7,936508	12,5	20	0,84	0,01
Q2	5	10	12,69841	20	80	1,7	0,04
Q4	3125	3125	3125	3125	3125	-0,82	0,17

Q3	2500	1	2	3
Limites de caudal	3,125	20	80	3125
Variação Erro [%]		0,011	0,043	0,166
Variação	10 %			
Volume ensaio		10	20	100
Variação Erro [L]		0,001	0,009	0,166

- a) 3 intervalos de caudais que caracterizam a curva de erros metrológicos, identificados no gráfico.
- b) A cada ensaio é permitido uma variação de 10% no caudal médio. Dependendo do intervalo, 1, 2 ou 3, a tolerância de erro nesses 10% é a que está indicada a amarelo.
- c) Variação permitida pela norma para o valor médio de caudal para cada ensaio.
- d) Volume nominal utilizado nestes ensaios.
- e) O mesmo que b) mas em Litros



- 1 Intervalo entre 3,125 L/h a 20 L/h
- 2 Intervalo entre 20 L/h e 80 L/h
- 3 Intervalo entre 80 L/h e 3125 L/h

y	x	a	b	y	x	a	b	y	x	a	b
-1,798222222	6	0,188444	-2,92889	0,983333	30	0,014333	0,553333	0,193793103	1900	-0,00083	1,766207
-1,786915556	6,06	0,188444	-2,92889	1,026333	33	0,014333	0,553333	0,028275862	2100	-0,00083	1,766207
0,011306667			y=ax+b	0,043			y=ax+b	0,165517241			y=ax+b