

I Congresso Brasileiro de Engenharia Clínica

Palestra:

Incertezas de Medições em Calibrações: aplicações práticas no ambiente hospitalar

São Paulo, 30 de Setembro de 2005

Gilberto Carlos Fidélis

Gilberto Carlos Fidélis

- **Eng. Mecânico com Especialização em Metrologia pelo NIST - Estados Unidos e NAMAS/UKAS - Inglaterra.**
- **Instrutor de cursos desde 1984.**
- **Envolvido com calibração de instrumentos e padrões desde 1982.**
- **Experiência com credenciamento e com implantação de sistema da qualidade (NBR ISO/IEC 17025) em laboratórios desde 1988.**
- **Avaliador técnico do INMETRO**

Instituição: CECT – Centro de Educação, Consultoria e Treinamento em Metrologia e Sistema da Qualidade

Tel.: 48 9977-2827

e-mail: gcfidelis@cect.com.br cect@cect.com.br

www.cect.com.br

Vocabulário
Internacional de Termos
Fundamentais e Gerais
de Metrologia. 3ed.

Portaria n. 29 de 10 de
março de 1995
Inmetro.

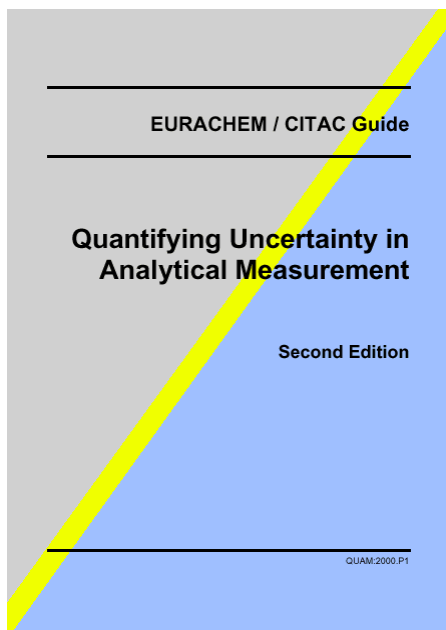
Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia - VIM

Portaria Inmetro 029 de 1995.



Guia para Expressão da Incerteza de Medição.

Terceira Edição Brasileira do “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”.



EURACHEM / CITAC

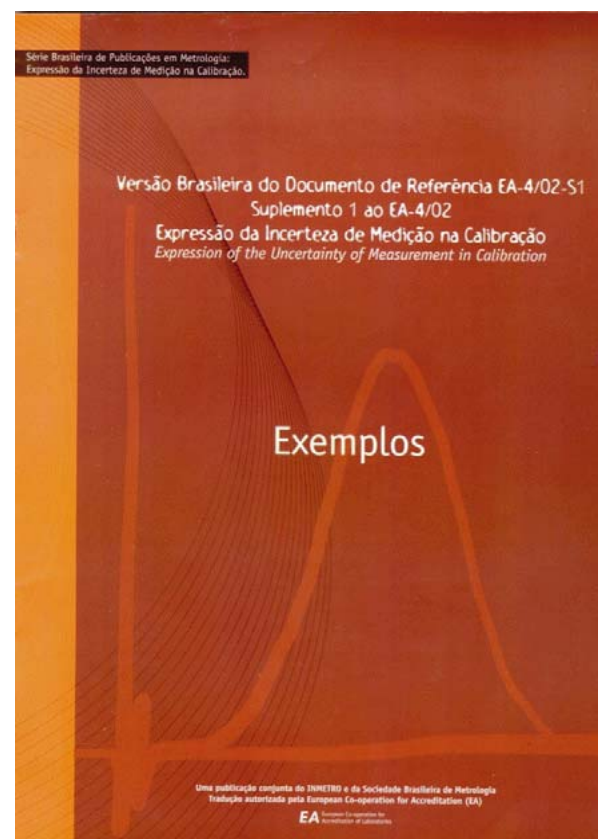
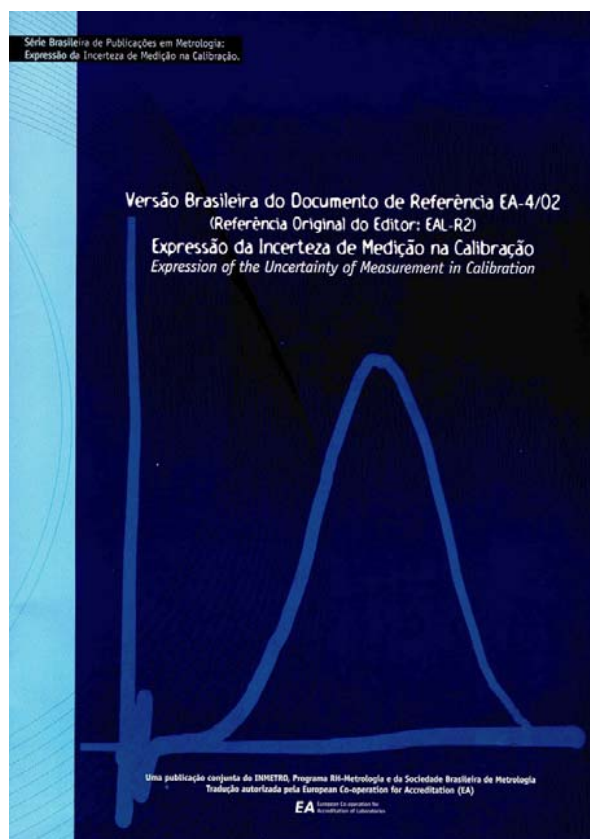
Guide “Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement”.

Second Edition - 2000.

Referências Bibliográficas



**Versão Brasileira do Documento de Referência EA-4/02
“Expressão da Incerteza de Medição na Calibração” - 01/1999.
EA - European Co-operation for Accreditation.**



Toda medição está sujeita a alguma incerteza.

O resultado de uma medição é completo somente se vem acompanhado com o valor estabelecido da incerteza na medição.

O que é incerteza de medição?

A incerteza de uma medição não é outra coisa senão a sua qualidade.

Incerteza de medição é a **dúvida** que existe sobre o resultado de qualquer medição.

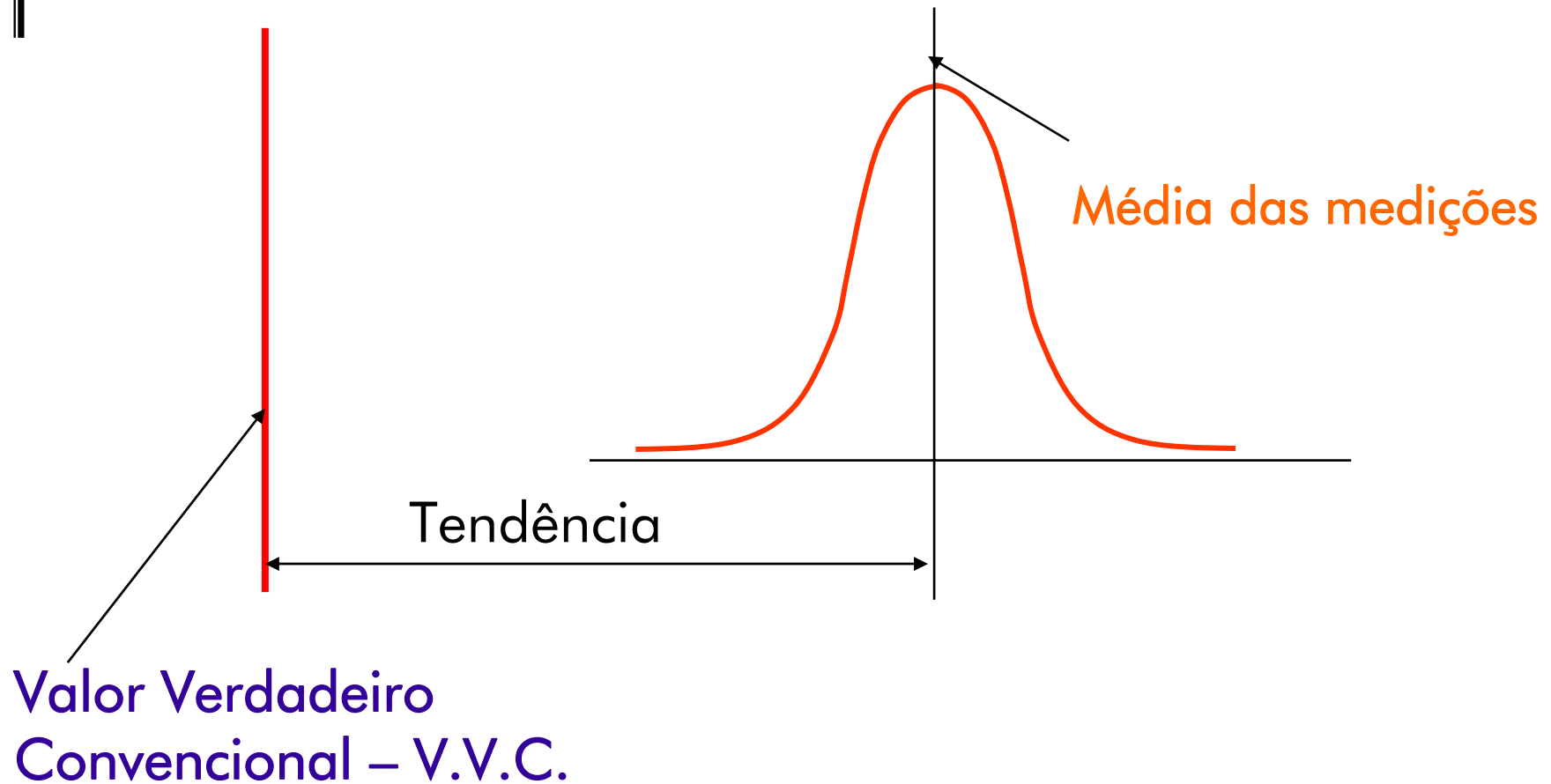
Mesmo sabendo que o resultado da medição não é perfeito, é possível obter informações confiáveis, desde que o resultado da medição venha acompanhado da respectiva incerteza.

Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando.

Observações:

- 1) O parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio padrão (ou um múltiplo dele), ou a metade de um intervalo correspondente a um nível de confiança estabelecido;
- 2) A incerteza de medição compreende, em geral, muitos componentes. Alguns destes componentes podem ser estimados com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições e podem ser caracterizados por desvios padrão experimentais. Os outros componentes, que também podem ser caracterizados por desvios padrão, são avaliados por meio de distribuição de probabilidade assumidas baseadas na experiência ou em outras informações;
- 3) Entende-se que o resultado da medição é a melhor estimativa do valor do mensurando e que todos os componentes da incerteza, incluindo aqueles resultantes dos efeitos sistemáticos, como os componentes associados com correções e padrões de referência, contribuem para a dispersão.

Tendência de um instrumento de medição



Estabilidade (VIM 5.14) e Deriva (VIM 5.16)



Estabilidade:

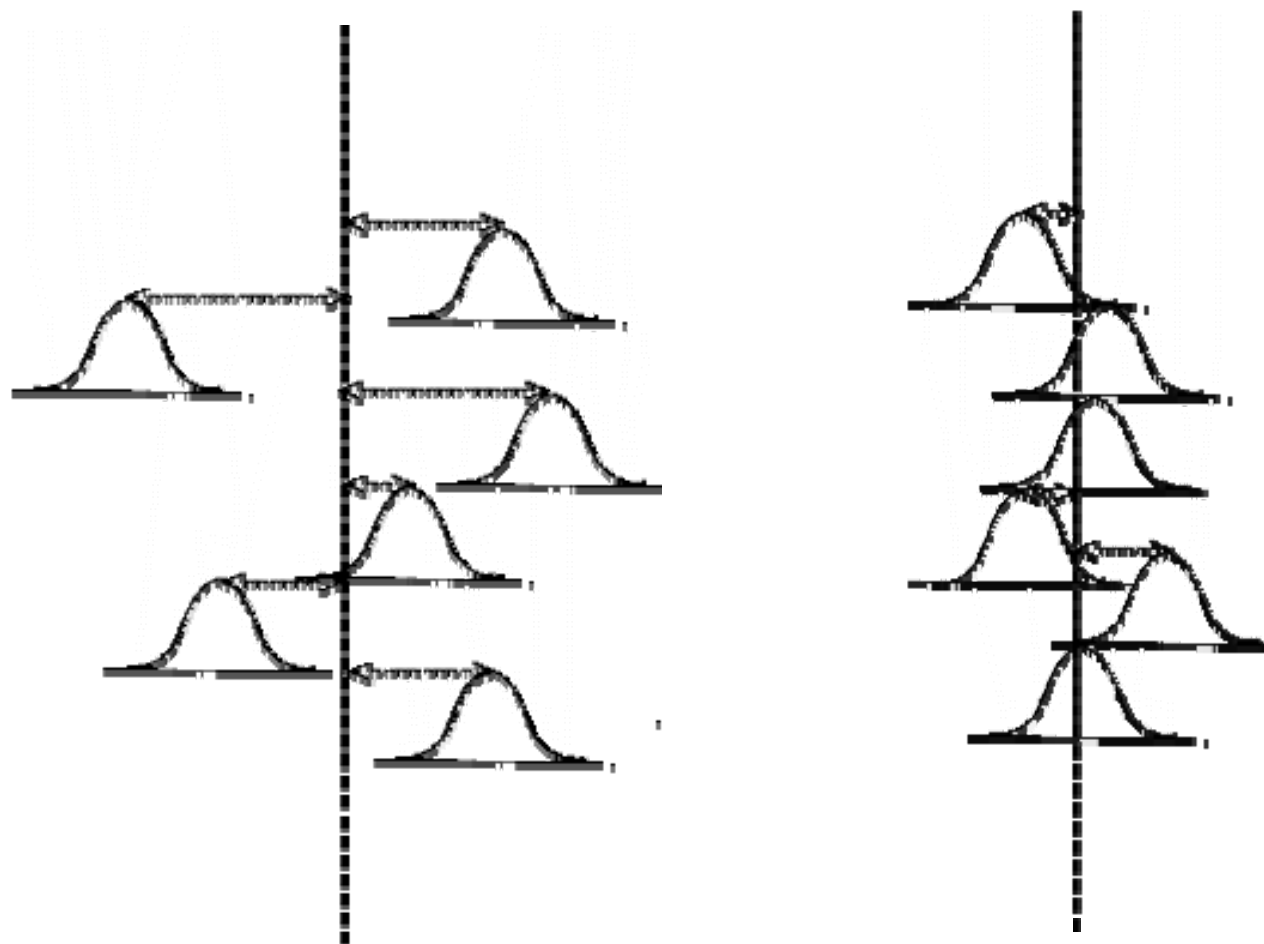
Aptidão de um instrumento de medição em conservar constantes suas características metrológicas ao longo do tempo.

Observações:

- 1) Quando a estabilidade for estabelecida em relação a uma outra grandeza que não o tempo, isto deve ser explicitamente mencionado;
- 2) A estabilidade pode ser quantificada de várias maneiras, por exemplo:
 - pelo tempo no qual a característica metrológica, varia de uma valor determinado; ou
 - em termos da variação de uma característica em um determinado período de tempo.

Deriva

Variação lenta de uma característica metrológica de um instrumento de medição.

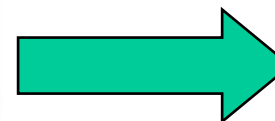
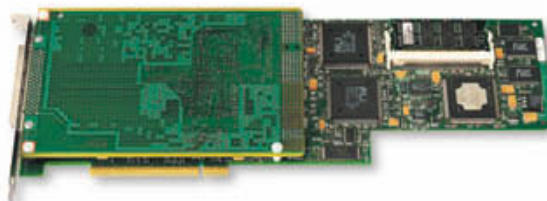


Comportamento de dois Sistemas de Medição em um período de 6 dias

Deriva com a Temperatura

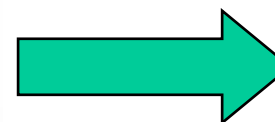
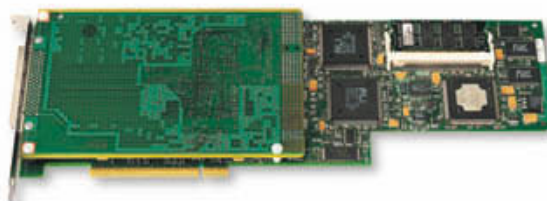


Indicação à 20°C = 2,000 0 V



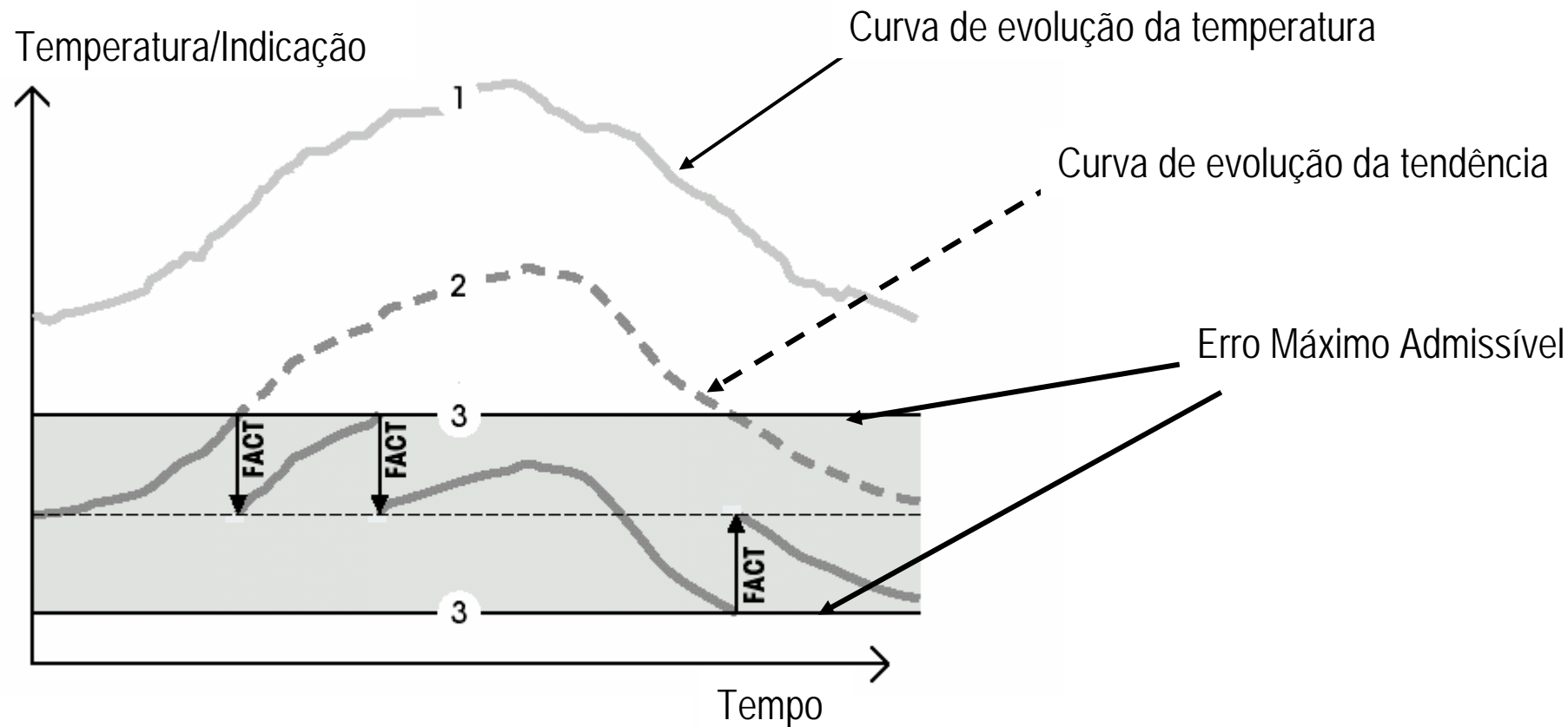
2,0001 V

$T > 20^{\circ}\text{C}$



1,9999 V

$T < 20^{\circ}\text{C}$



Se a temperatura (1) no momento da medição aumenta ou diminui com o tempo a tendência (2) do instrumento passa a aumentar ou a diminuir. Alguns instrumentos fazem compensação automática do efeito da temperatura sobre a tendência evitando que o instrumento passe a medir com erros acima do Erro Máximo Admissível (3).

Resultado de uma Medição (VIM 3.1)



Valor atribuído a um mensurando obtido por medição.

Observações:

1) Quando um resultado é dado, deve-se indicar claramente se ele se refere:

- à indicação;

- ao resultado não corrigido;

- ao resultado corrigido;

e se corresponde ao valor médio de várias medições.

2) Uma expressão completa do resultado de uma medição inclui informações sobre a incerteza de medição.

RM = Resultado Corrigido \pm Incerteza [unidade de medida]

RC = Resultado Corrigido. *É o valor obtido na medição após a correção dos erros do instrumento de medição, erros devido as grandezas externas (como por exemplo temperatura) e outros erros.*

Rc=Indicação + correção (n=1) ou Rc= Média das indicações + correção (n>1)

- Formas de avaliação da incerteza:

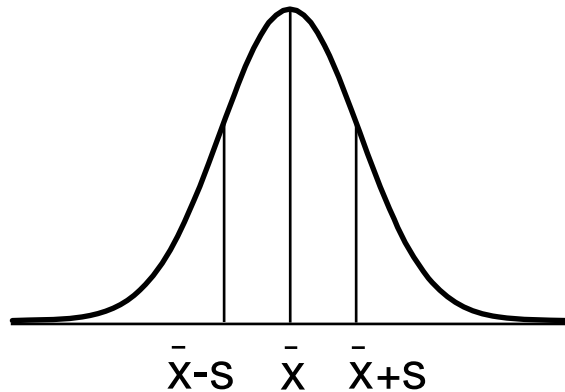
- Tipo A
- Tipo B

- Incerteza Padrão (u)
- Incerteza Padrão Combinada (u_c)
- Coeficiente de Sensibilidade (C)
- Incerteza Expandida (U)
- Graus de Liberdade (ν)
- Fator de abrangência (k)
- Nível de confiança ou probabilidade de abrangência

Distribuição Normal



Entre as distribuições teóricas de variável aleatória contínua, uma das mais empregadas é a distribuição Normal.



A distribuição Normal é a mais familiar das distribuições de probabilidade e também uma das mais importantes em estatística. Esta distribuição tem uma forma de sino.

A média refere-se ao centro da distribuição e o desvio padrão ao espalhamento de curva. A distribuição normal é simétrica em torno da média.

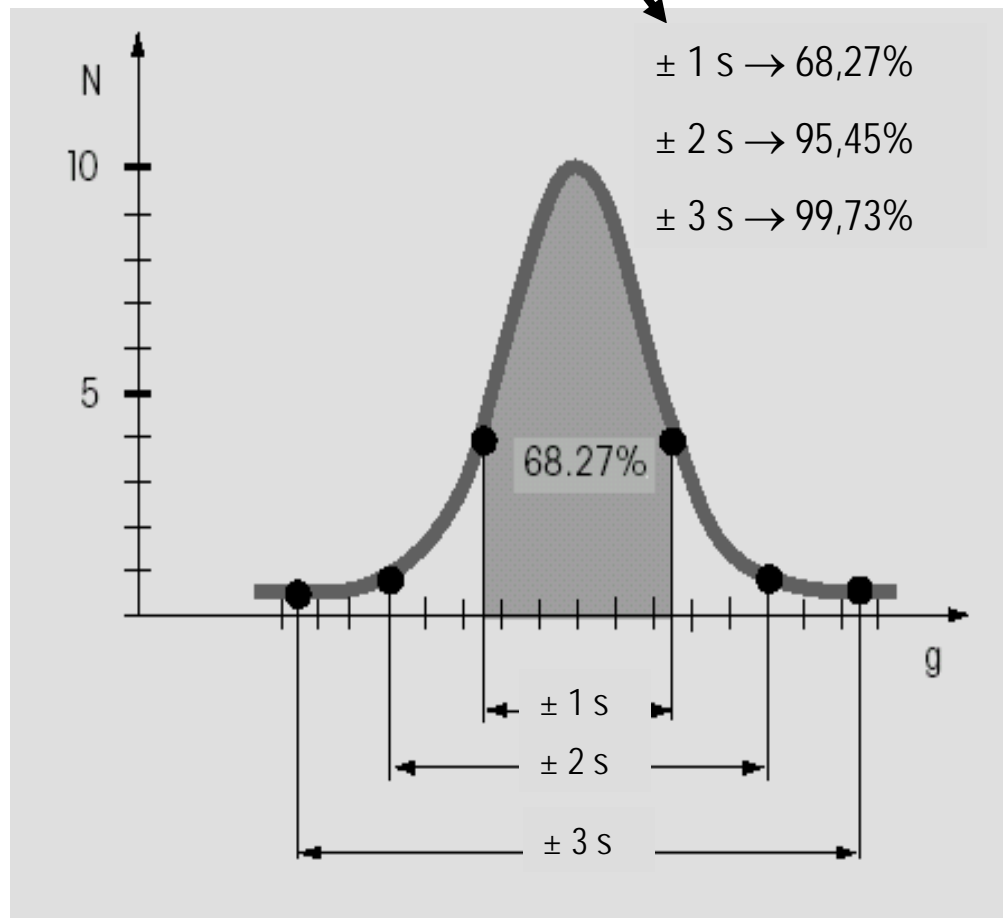
Exemplos:

- Incerteza expandida declarada em certificados de calibração
- Avaliação da incerteza do tipo A (repetitividade ou reprodutibilidade)

Nível de Confiança



Os níveis de confiança mais utilizados em metrologia.



Exemplo: O resultado na medição da energia é de

$(360,0 \pm 3,5) J$

para um nível de confiança de aproximadamente 95,45%.

Significa que a energia entregue pelo equipamento está dentro do intervalo de 356,5 a 363,5 J com 95,45% de probabilidade.

Ainda existe 4,55% de probabilidade de que o valor da energia caia fora deste intervalo.

Calculando a incerteza padrão do Tipo A

Quando um conjunto de muitas medições **repetidas** é feito a média e o desvio padrão estimado, s , podem ser calculados do conjunto. Dele, o desvio padrão estimado da média, u , é calculado por:

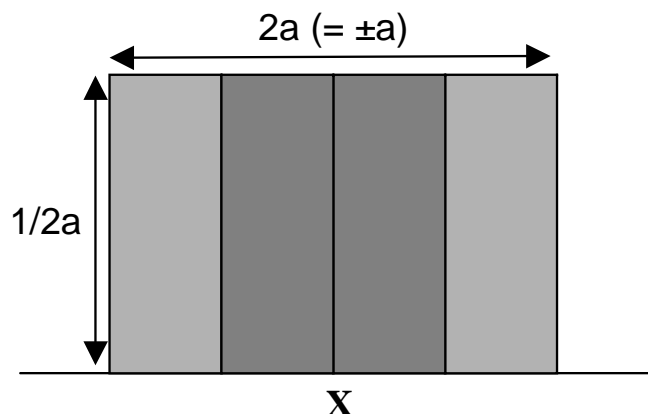
$$u = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

onde n é o número de medições realizadas.

Em situações de não-repetitividade devemos avaliar a incerteza padrão tipo A pela expressão

$$u = s$$

Distribuição retangular:



“Quando não existem informações suficientes disponíveis para supor a forma da distribuição de probabilidade de determinada grandeza, assume-se **distribuição retangular** por questão de segurança”. (ISO GUM)

Usar quando:

- Um certificado ou outra especificação dá limites **sem especificar um nível de confiança**.
- É feita uma estimativa sob a forma de uma faixa máxima ($\pm a$) sem se ter conhecimento do formato da distribuição.

Exemplos:

- Resolução do instrumento de medição
- Outras componentes de incertezas cuja distribuição de probabilidade não são conhecidas

Incerteza padrão:

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

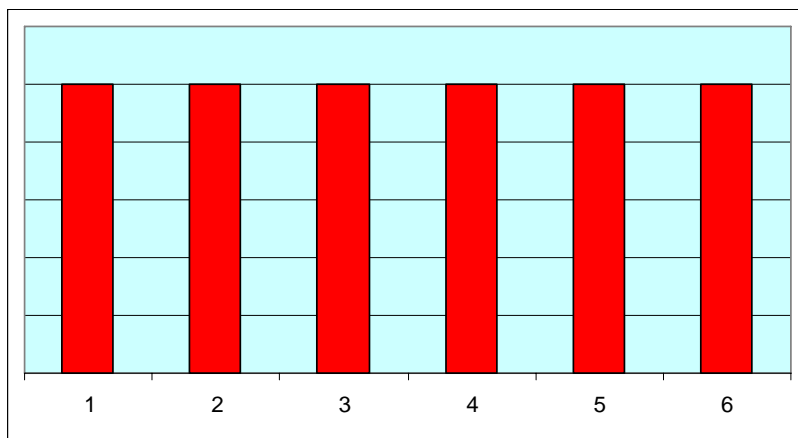
A determinação da **incerteza padrão combinada** (u_c) é obtida como sendo a **raíz quadrada positiva da soma quadrática das diversas incertezas padrão** (u_i), **não correlacionadas**, envolvidas no processo de medição.

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_n^2}$$

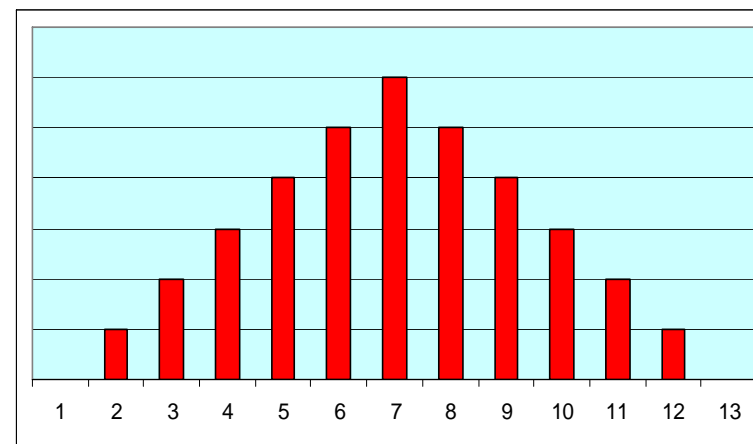
Para **grandezas correlacionadas** temos

$$u_c = u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_n$$

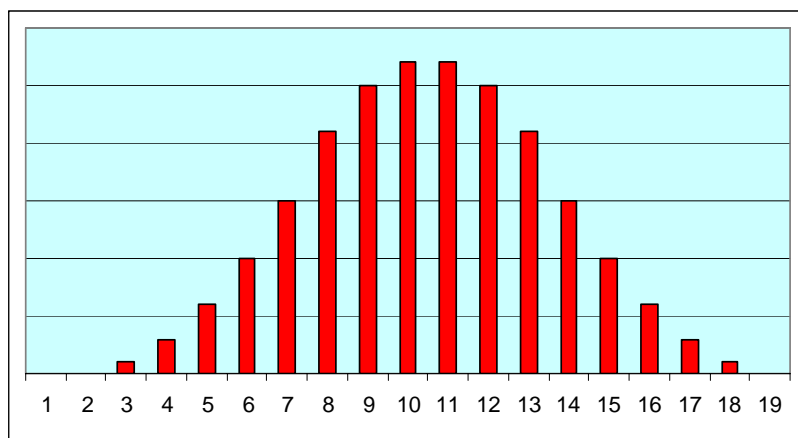
Teorema do Limite Central



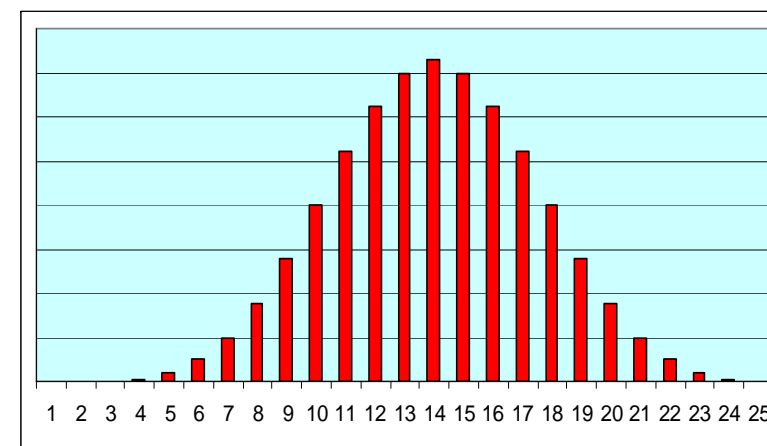
$f(x)$ de um dado



$f(x)$ da soma de dois dados



$f(x)$ da soma de três dados



$f(x)$ da soma de quatro dados

- AVALIAÇÃO TIPO A (da incerteza):

Método de avaliação da incerteza pela análise estatística de uma série de observações

- AVALIAÇÃO TIPO B (da incerteza):

São incertezas estimadas usando qualquer outra informação.

Pode ser informação de medições em experiências passadas, de certificados de calibração, especificações de fabricantes, de cálculos, de informações publicadas em normas técnicas ou em livros e manuais, resolução do instrumento de medição e do bom senso.

Exemplo:

Incerteza citada em Certificados de Calibração

A incerteza expandida (U) informada em certificados de calibração deverá ser transformada em **incerteza padrão**: $u(x_i)$

Ou seja:

$$u = \frac{U}{k}$$

A **incerteza expandida** é obtida pela multiplicação do fator de abrangência (k) pela **incerteza padrão combinada (u_c)**.

$$U_P = k \cdot u_c$$

FATOR DE ABRANGÊNCIA (k):

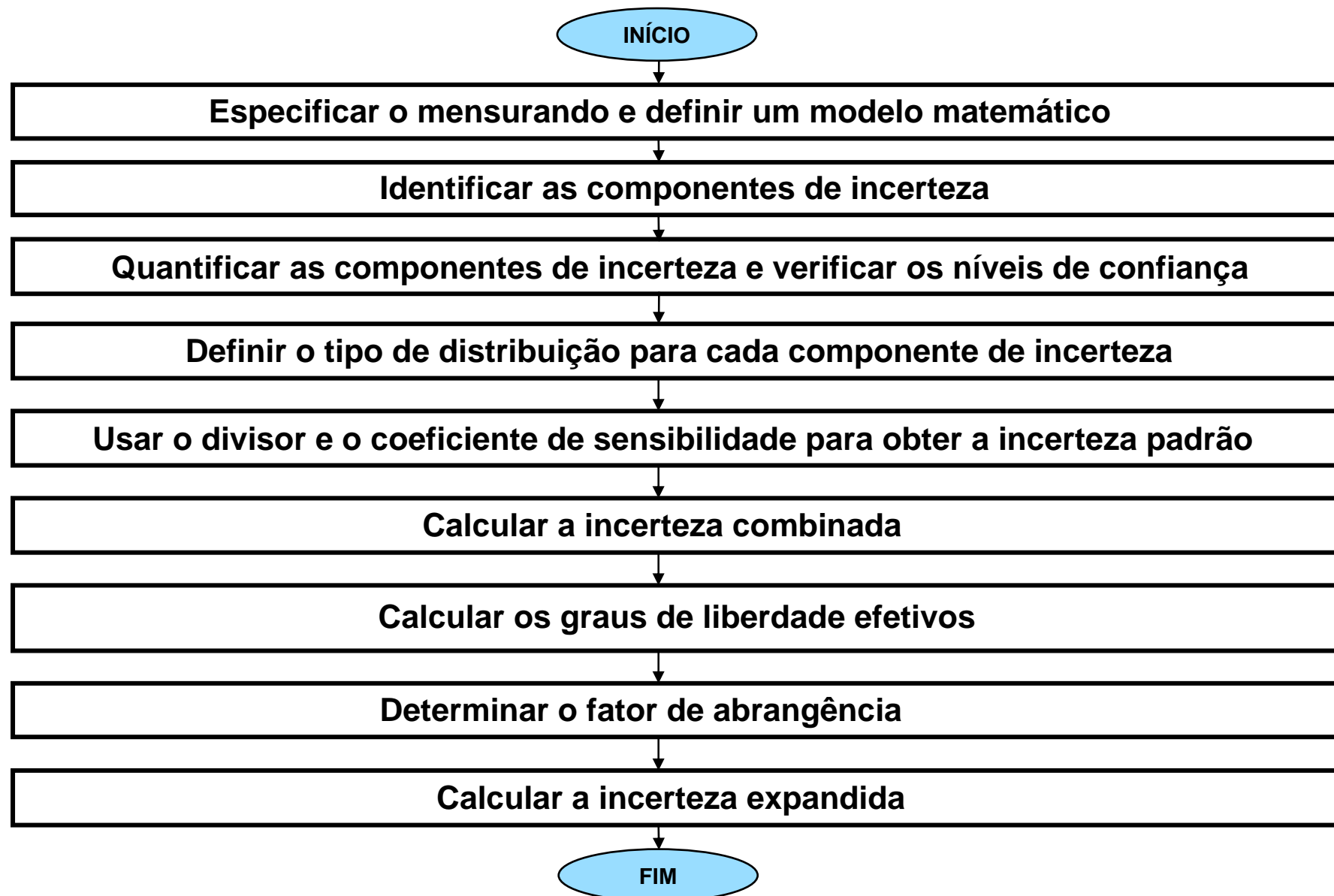
Fator numérico usado como multiplicador da incerteza padrão combinada, de modo a obter a incerteza expandida.

A Distribuição de Probabilidade da U é aproximadamente **NORMAL**. O menor valor do **FATOR DE ABRANGÊNCIA (k)** é:

k=2 -Para nível de confiança de aproximadamente 95%

k=3 -Para nível de confiança de aproximadamente 99%

O Processo de Avaliação de Incerteza



1- Usar a equação de WELCH SATTETHRWAITE para calcular os graus de liberdade efetivo associados a Incerteza Combinada.

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{\nu_I}}$$

2- Com os graus de liberdade efetivo calculado, da Tabela de Coeficientes de Student, selecionar o coeficiente correspondente ao nível de confiança de 95,45%.

Tabela de Coeficientes de Student



Valores de $t = f(v)$ nível de confiança 95,45%

$$v = n - 1$$

v : graus de liberdade

n : número de repetições

t : coeficiente de Student ($t=k$)

v ou v_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,32	2,28

v ou v_{eff}	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
k	2,25	2,23	2,21	2,20	2,18	2,17	2,16	2,15	2,14	2,13

v ou v_{eff}		25	30	35	40	45		50	100	∞
k		2,11	2,09	2,07	2,06	2,06		2,05	2,025	2,000

Avaliação da Incerteza de Medição da calibração da energia entregue de um Cardioversor (faixa de alta energia: 0 a 1000 J)

1. Padrão Utilizado: Analisador de Desfibrilador

Fabricante: Fluke Modelo: QED-6

N. série: 206435

Incerteza da calibração

(segundo certificado de calibração):

Incerteza da calibração do padrão		
Energia J	Incerteza (J) 95%	k
10,0	0,3	2,2
80,0	2,0	2,2
240,0	5,0	2,2
360,0	7,2	2,2



2. Cardioversor Calibrado

Fabricante: XXXXXX

Modelo: YYYYYYYY

N. série: 678767876787678

3. Procedimento de calibração.

As indicações do Cardioversor foram comparadas com as indicações de energia fornecida pelo padrão. Foram realizados três ciclos de calibração.

Condições ambientais:

Temperatura ambiente: $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$

Umidade Relativa do Ar: $(46 \pm 5)\%$

4. Resultados da Calibração

4.1 Dados brutos

Energia (J)					
Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
Padrão	Cardioversor	Padrão	Cardioversor	Padrão	Cardioversor
10,0	9,9	10,0	9,7	10,0	9,9
80,0	80,8	80,0	79,3	80,0	80,7
240,0	246,7	240,0	247,4	240,0	248,9
360,0	369,6	360,0	372,1	360,0	370,6

4.2. Dados Processados

Energia (J)						
Indicação Média no Padrão	Indicação Média no Cardioversor	Tendência do Cardioversor	Desvio Padrão	Tipo A da Incerteza	Incerteza Expandida 95%	Fator de Abrangência k
10,0	9,8	-0,2	0,11547	0,06667	0,4	2,11
80,0	80,3	0,3	0,83865	0,48419	1,7	2,52
240,0	247,7	7,7	1,12398	0,64893	3,3	2,06
360,0	370,8	10,8	1,25831	0,72648	4,4	2,09

5. Planilhas de Incertezas

5.1 Para Energia Entregue de 10 J

Componentes de Incerteza				Distrib. de Probab.	Divisor	Coeficiente Sensibilidade C_i		Incerteza Padrão U_i [J]	Graus Liber. V_i	Percentual contribuição [%]
Nome	Valor (+/-)	Unidade	NC (%)			Valor	Unidade			
Inc. Calibração Padrão	0,3	J	95	N	2,2	1	J/J	0,13636	14	66,3
Estabilidade Padrao	0,1	J	100	R	1,73	1	J/J	0,05774	infinitos	11,9
Resolução Padrao (R/2)	0,05	J	100	R	1,73	1	J/J	0,02887	infinitos	3,0
Resolução Cardioversor.	0,05	J	100	R	1,73	1	J/J	0,02887	infinitos	3,0
Repetitividade (tipo A)	0,0667	J	68	N	1	1	J/J	0,06670	2	15,9
INCERTEZA COMBINADA (uc)								0,16746	$v_{eff} =$	23
INCERTEZA EXPANDIDA (aprox. 95%)								0,4	$k =$	2,11
Observação: NC = Nível de Confiança N = Normal R = Retangular										

5.2 Para Energia Entregue de 80 J

Componentes de Incerteza				Distrib. de Probab.	Divisor	Coeficiente Sensibilidade C_i		Incerteza Padrão U_i [J]	Graus Liber. V_i	Percentual contribuição [%]
Nome	Valor (+/-)	Unidade	NC (%)			Valor	Unidade			
Inc. Calibração Padrão	1,0	J	95	N	2,28	1	J/J	0,43860	10	44,5
Estabilidade Padrao	0,1	J	100	R	1,73	1	J/J	0,05774	infinitos	0,8
Resolução Padrao (R/2)	0,05	J	100	R	1,73	1	J/J	0,02887	infinitos	0,2
Resolução Cardioversor.	0,05	J	100	R	1,73	1	J/J	0,02887	infinitos	0,2
Repetitividade (tipo A)	0,4842	J	68	N	1	1	J/J	0,48419	2	54,3
INCERTEZA COMBINADA (u_c)								0,65712	$v_{eff} =$	6
INCERTEZA EXPANDIDA (aprox. 95%)								1,7	k =	2,52
Observação: NC = Nível de Confiança N = Normal R = Retangular										

5.3 Para Energia Entregue de 240 J

Componentes de Incerteza				Distrib. de Probab.	Divisor	Coeficiente Sensibilidade C_i		Incerteza Padrão $U_i [J]$	Graus Liber. V_i	Percentual contribuição [%]
Nome	Valor (+/-)	Unidade	NC (%)			Valor	Unidade			
Inc. Calibração Padrão	2,0	J	95	N	2,25	1	J/J	0,88889	11	31,0
Estabilidade Padrao	2,0	J	100	R	1,73	1	J/J	1,15470	infinitos	52,4
Resolução Padrao (R/2)	0,05	J	100	R	1,73	1	J/J	0,02887	infinitos	0,0
Resolução Cardioversor.	0,05	J	100	R	1,73	1	J/J	0,02887	infinitos	0,0
Repetitividade (tipo A)	0,6489	J	68	N	1	1	J/J	0,64893	2	16,5
INCERTEZA COMBINADA (uc)								1,59569	$v_{eff} =$	45
INCERTEZA EXPANDIDA (aprox. 95%)								3,3	$k =$	2,06
Observação: NC = Nível de Confiança N = Normal R = Retangular										

5.4 Para Energia Entregue de 360 J

Componentes de Incerteza				Distrib. de Probab.	Divisor	Coeficiente Sensibilidade C_i		Incerteza Padrão U_i [J]	Graus Liber. ν_i	Percentual contribuição [%]
Nome	Valor (+/-)	Unidade	NC (%)			Valor	Unidade			
Inc. Calibração Padrão	3,5	J	95	N	2,2	1	J/J	1,59091	14	57,6
Estabilidade Padrao	2	J	100	R	1,73	1	J/J	1,15470	infinitos	30,3
Resolução Padrao (R/2)	0,05	J	100	R	1,73	1	J/J	0,02887	infinitos	0,0
Resolução Cardioversor.	0,05	J	100	R	1,73	1	J/J	0,02887	infinitos	0,0
Repetitividade (tipo A)	0,7265	J	68	N	1	1	J/J	0,72648	2	12,0
INCERTEZA COMBINADA (uc)								2,09613	$\nu_{eff} =$	32
INCERTEZA EXPANDIDA (aprox. 95%)								4,4	k =	2,090
Observação: NC = Nível de Confiança N = Normal R = Retangular										

A decorative graphic in the top left corner consisting of a vertical line and a horizontal line that intersect at the top left, with the horizontal line extending to the right.

Muito
Obrigado!