

Calibração de Balanças e Incerteza de Medição

>> Curso Online / Ao Vivo <<



Professor:
Alexandre Mendes

Apresentação

Professor: Alexandre mendes

Professor titular de Metrologia do Instituto Federal do Rio de Janeiro

Licenciado em Física - UFRJ; Mestre em Metrologia - PUC-Rio e Doutor em Eng. Mecânica - PUC-Rio

Vice Presidente da SBM nos biênios 2010-2012; 2012-2014; 2014-2016, 2016-2018.

Membro do Conselho Deliberativo da SBM no quadriênio (2018 – 2022)

Coordenador acadêmico da pós graduação em Metrologia da SBM/IPETE-UCP

Autor dos livros:

✓ Metrologia e Incerteza de Medição – Conceitos e Aplicações - editora LTC.

<https://www.grupogen.com.br/metrologia-e-incerteza-de-medicao-conceitos-e-aplicacoes>

✓ A Física no Parque (MAST) e Termos e Expressões de Metrologia Aplicáveis ao Ambiente da Saúde
- Documento Orientativo - SBM.



1. PORTARIA 233 – INMETRO

- CLASSIFICAÇÃO DAS MASSAS PADRÃO
- ERRO MÁXIMO ADMISSÍVEL PARA AS MASSAS PADRÃO
- INFLUÊNCIAS FÍSICAS NAS PESSAGENS
- EXERCÍCIO

2. PORTARIA 236 – INMETRO: CLASSES DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

- CLASSE DE EXATIDAS DAS BALANÇAS
- ERRO MÁXIMO PERMITIDO
- APLICABILIDADE DA MASSA PADRÃO PARA UTILIZAÇÃO NA RESPECTIVA BALANÇA.
- CARACTERISTICAS METROLOGICAS DAS BALANÇAS
- CUIDADOS NO MANUSEIO E INSTALAÇÃO DAS BALANÇAS.
- EXERCÍCIOS



3. ESTATÍSTICA APLICADA NO CÁLCULO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO

- TESTE DE VALOR EXTREMO (GRUBBS)
- HISTOGRAMA - CONCEITO
- DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE - DISTRIBUIÇÃO NORMAL, UNIFORME, TRIANGULAR E T-STUDENT.
- EXERCÍCIOS

4. ISO GUM (2008) – GUIA PARA A ESTIMATIVA DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO. 11/06

- INCERTEZAS TIPO A E B – APLICAÇÃO EM BALANÇAS
- COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE
- GRAUS DE LIBERDADE EFETIVO
- FATOR DE ABRANGÊNCIA K.
- INCERTEZA EXPANDIDA.



5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

- CALIBRAÇÃO DE BALANÇA DE PRECISÃO E ANALÍTICA.
- FATORES DE INFLUENCIA NA CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS
- FONTES DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO
- ROTINA EMPREGADA PARA CALIBRAÇÃO DE BALANÇA.
- MONTANDO PLANILHA DE CÁLCULO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO NA CALIBRAÇÃO DE UMA BALANÇA ANALITICA.
- VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA DE BALANÇAS – DOQ CGCRE 36
- EXERCICIO

6. AJUSTE DE UMA FUNÇÃO

- CURVA DE CALIBRAÇÃO DE UMA BALANÇA
- INCERTEZA DA CURVA AJUSTADA
- EXERCÍCIOS

7. DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM MEDIÇÕES INDIRETAS

- PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS EM MEDIÇÕES INDIRETAS
- INCERTEZA RELATIVA
- EXERCÍCIOS

Referências bibliográficas



PORTARIA INMETRO 233 – MASSA PADRÃO 22/12/1994
PORTARIA INMETRO 236 – BALANÇAS - 22/12/1994

Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO
Portaria INMETRO nº 233, de 22 de Dezembro de 1994.

O Presidente do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO, usando das atribuições que lhe conferem os itens 4.1, 8, 9, 40, 42, 43 e 43.1 da Regulamentação aprovada pela Resolução CONMETRO nº 11, de 12 de outubro de 1988,

Considerando a necessidade de atualizar a legislação metroológica relativa a pesos padrão, para a proteção do consumidor, facilidade de uso e exatidão das medições de massa,

Considerando que a Regulamentação Internacional R 111 (94) da Organização Internacional de Metrologia Legal da qual o Brasil é País-Membro, resolve:

- Art. 1º Aprovar o Regulamento Técnico Metroológico, que com esta baixa, estabelecendo as condições que deverão ser observadas na fabricação e utilização de pesos padrão.
- Art. 2º Ficam as instruções expedidas pelo Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio (MTIC) através das Portarias MTIC nº 63, de 17/11/44, MTIC nº 48, de 13/05/46 e MTIC nº 62 de 18/10/46, substituídas pelo regulamento neste ato aprovado, naquilo que for concernente a padrões de massa, também designados de pesos.
- Art. 3º Revogar a Portaria INPM nº 004 de 25/01/71 e demais disposições em contrário.
- Art. 4º Os pesos de precisão que obedecem as regulamentações de fabricação válidas até a entrada em vigor desta Portaria só podem ser submetidos a verificação inicial até 31 de dezembro de 1997, se estiverem marcados com um asterisco ou com a letra "P".
- Art. 5º Os pesos de precisão que obedecem as regulamentações de fabricação válidas até a entrada em vigor desta Portaria só podem ser submetidos as verificações subsequentes até 31 de dezembro de 2009 se observarem os erros máximos permitidos para as classes M₁ ou M₂ estabelecidos no Regulamento ora aprovado.
- Art. 6º A presente Portaria entrará em vigor na data de sua publicação.

Arnaldo Pereira Ribeiro
Presidente do INMETRO

Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO

Portaria INMETRO nº 236 de 22 de dezembro de 1994.

O Presidente do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO, usando das atribuições que lhe conferem os itens 4.1, 8, 9, 40, 42, 43 e 43.1 da Regulamentação Metroológica aprovada pela Resolução CONMETRO nº 11, de 12 de outubro de 1988,

Considerando a necessidade de atualizar a legislação relativa aos Instrumentos de pesagem, para proteção do consumidor, para facilidade de uso e exatidão das medições de massa, para prevenção contra a fraude e influências a que esses instrumentos estão sujeitos,

Considerando a Recomendação Internacional R 76-1 (92) da Organização Internacional de Metrologia Legal da qual o Brasil é País-Membro, resolve:

Art. 1º Aprovar o Regulamento Técnico Metroológico, que com esta baixa, estabelecendo as condições que deverão ser observadas na fabricação, instalação e utilização de Instrumentos de pesagem não automáticos, que se inclui como:

Anexo I: Regulamento Técnico Metroológico,

Anexo II.A: Procedimentos de Ensaio,

Anexo II.B: Ensaílos adicionais para Instrumentos eletrônicos,

Anexo III: Terminologia

Art. 2º Ficam as Instruções expedidas pelo antigo Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio (MTIC) através das Portarias MTIC nº 63, de 17.11.44, MTIC nº 48, de 13.05.46 e MTIC nº 187, de 22.10.46, sobre medição de massas, substituídas pelo Regulamento neste ato aprovado, naquilo que for concernente a Instrumentos de pesagem não automáticos.

Art. 3º Revogar as Portarias INPM nº 02, de 25.01.68, INMETRO nº 261, de 29.11.89, INMETRO nº 11, de 25.01.94 e demais disposições em contrário.

Art. 4º Os Instrumentos de pesagem não automáticos, cujos modelos foram aprovados anteriormente a vigência desta portaria e que continuam sendo produzidos, terão um prazo até 31 de dezembro de 1997 para atenderem aos ensaios definidos para a verificação inicial (Item 9.4) e terão um prazo até 31 de dezembro de 2002 para se adaptarem as demais exigências estabelecidas no Regulamento ora aprovado.

Parágrafo Único Os Instrumentos de pesagem não automáticos cujos modelos desenvolvidos anteriormente a vigência da Resolução CONMETRO nº 01/82, substituída pela Resolução CONMETRO nº 11/88, não foram submetidos a aprovação e que continuam sendo produzidos, terão os mesmos prazos estabelecidos neste artigo.

Art. 5º Os Instrumentos de pesagem não automáticos em uso, que cumprem com as regulamentações técnicas metroológicas, vigentes anteriormente a esta portaria, terão um prazo até 31 de dezembro de 2002 para se adaptarem as exigências estabelecidas pelo Regulamento ora aprovado.

Parágrafo Único Os Instrumentos referidos neste artigo devem satisfazer, no período transitório de 01 de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2002, o dobro dos erros máximos permitidos nas verificações subsequentes, constantes do Regulamento ora aprovado.

Art. 6º A presente portaria entrará em vigor na data de sua publicação.

Arnaldo Pereira Ribeiro
Presidente do INMETRO



Coordenação Geral de Acreditação

ORIENTAÇÕES SOBRE VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA DAS BALANÇAS

Documento Orientativo

DOQ-CGCRE-036

Revisão 01 – ABR/2000

1. PORTARIA 233 Inmetro – CLASSIFICAÇÃO DE MASSAS

Coleção de Pesos-padrão: Uma série de pesos, usualmente apresentada em uma caixa ou estojo, de maneira, a possibilitar qualquer pesagem de cargas compreendidas entre a massa do peso de maior valor nominal e a soma das massas de todos os pesos da série, com uma progressão na qual a massa do peso de menor valor nominal constitui o menor incremento da série.



Coleção de massa padrão classe E2

1 g; 2g, 2g; 5 g; 10 g; 20 g, 20 g; 50 g; 100 g; 200 g, 200 g

1. PORTARIA 233 Inmetro – CLASSIFICAÇÃO DE MASSAS

Internacionalmente existem 3 classificações mais empregadas para os pesos-padrão.

a) Pesos-padrão da Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML)

Classes: E1 - E2 - F1 - F2 - M1 - M2 - M3

Faixa: 1 mg a 50 kg (A portaria 233 se refere a essas classes e faixa)

b) Pesos-padrão da Associação Americana para Testes de Materiais (ASTM)

Classes: 1 - 1.1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6

Faixa: 1 mg a 5000 kg

c) Pesos-padrão do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST)

Classe:F

Faixa:1 mg a 5000 kg

1. PORTARIA 233 Inmetro – CLASSIFICAÇÃO DE MASSAS

Pesos-Padrão do Grupo A

- a) Confeccionados em arame com e sem dobra: Classes E1 - E2 - F1
- b) Confeccionados em chapa: Classes F2 - M1 - M2 - M3 Faixa de 1 mg a 500 mg

Pesos-Padrão do Grupo B

Confeccionados sem câmara de ajuste (inteiriços)

- Classes E1 (sem especificação do valor nominal)
- Classes E2 (sem especificação do valor nominal)
- Classes F1 (com especificação do valor nominal)

Observação: Em uma coleção, para identificar individualmente dois pesos-padrão com um mesmo valor nominal é permitido colocar um ponto no centro de um deles.

Pesos-Padrão do Grupo C

Confeccionados com câmara de ajuste

- Classes F1 - F2
- Faixa de 50 g a 20 kg



1. PORTARIA 233 Inmetro – CLASSIFICAÇÃO DE MASSAS

Pesos-Padrão do Grupo D

Confeccionados com câmara de ajuste e formato cilíndrico

- Classes F1
- Faixa de 50 g a 5 kg

Pesos-Padrão do Grupo E

Confeccionados com câmara de ajuste e formato paralelepípedo

- Classes M1 - M2 - M3
- Faixa de 5 kg a 50 kg



1. PORTARIA 233 Inmetro – CLASSIFICAÇÃO DE MASSAS

A classificação dos pesos-padrão também está relacionada com o processo de fabricação e do tipo de marcação em sua superfície:

Classe E1 e E2: pesos inteiriços de aço inoxidável, sem marcação na sua superfície e sem câmara de ajuste.

Classe F1: pesos de aço inoxidável com câmara de ajuste, admitem a marcação do valor nominal na sua superfície.

Classe F2: pesos de latão com um revestimento de cromo, admitem a marcação do valor nominal na sua superfície, seguido da letra F.

Classe M1, M2, M3: pesos de latão ou ferro fundido, admitem a marcação do valor nominal na sua superfície, com boa qualidade de pintura.

1. PORTARIA 233 Inmetro – CLASSIFICAÇÃO DE MASSAS

Valor Nominal dos Pesos-Padrão

Os jogos de pesos-padrão, que geralmente são chamadas de “coleções de pesos-padrão” podem ser confeccionados de diferentes tipos de material, porém o mais indicado é o aço inoxidável, com massa específica próxima de 8000 kg/m^3 . Uma coleção de pesos-padrão, consiste em uma série de pesos designados de tal modo, que todos os valores nominais possíveis possam ser assegurados com o menor número de pesos. A composição das séries dos pesos mais comum é:

$$(1-2-2-5) \times 10^n \text{ kg}; (1-1-2-5) \times 10^n \text{ kg}; (1-1-1-2-5) \times 10^n \text{ kg} \text{ e } (1-1-2-2-5) \times 10^n \text{ kg}$$

onde “n” representa um número inteiro positivo, negativo ou zero.

O valor nominal da massa dos pesos-padrão devem ser iguais a $1 \times 10^n \text{ kg}$; $2 \times 10^n \text{ kg}$ ou $5 \times 10^n \text{ kg}$, onde “n” também representa um número inteiro positivo, negativo ou zero.

1. PORTARIA 233 Inmetro – CLASSIFICAÇÃO DE MASSAS

A massa específica dos pesos-padrão variam de acordo com o tipo de material empregado na sua confecção, sendo que atualmente o aço inoxidável com 8000 kg/m^3 é o mais recomendado.

MATERIAL	MASSA ESPECIFICA (kg/m^3)	FAIXA DE MEDIÇÃO
Alumínio	2700	1 mg a 5 mg
Níquel	8600	10 mg a 500 mg
Aço	7900	1 g a 50 kg
Latão	8400	1 g a 20 kg
Ferro Fundido	7850	5 kg a 1000 kg
Platina	21500	1 kg

1. PORTARIA 233 Inmetro – ERRO MÁXIMO PERMITIDO

Máximo Erro Permitido (δm) em Verificações

Para cada peso-padrão, o máximo erro encontrado no valor de massa convencional ou do valor de massa do certificado, deve ser menor ou igual a 1/3 do máximo erro permitido da tabela de erros que veremos a seguir. Exceto para os pesos-padrão de classe E1 onde o erro deve ser significativamente menor que o máximo erro permitido.

Os erros dos pesos-padrão de classe E1 servem de base para as outras classes.

$$E2 \cong 3 \times E1$$

$$F1 \cong 3 \times E2$$

$$F2 \cong 3 \times F1$$

Valor nominal	Classe E ₁	Classe E ₂	Classe F ₁	Classe F ₂	Classe M ₁	Classe M ₂	Classe M ₃
50 kg	25	75	250	750	2500	7500	25000
20 kg	10	30	100	300	1000	3000	10000
10 kg	5	15	50	150	500	1500	5000
5 kg	25	75	25	75	250	750	2500
2 kg	1,0	3,0	10	30	100	300	1000
1 kg	0,5	1,5	5	15	50	150	500
500 g	0,25	0,75	2,5	7,5	25	75	250
200 g	0,10	0,30	1,0	3,0	10	30	100
100 g	0,05	0,15	0,5	1,5	5	15	50
50 g	0,030	0,10	0,30	1,0	3,0	10	30
20 g	0,025	0,080	0,25	0,8	2,5	8	25
10 g	0,020	0,060	0,20	0,6	2	6	20
5 g	0,015	0,050	0,15	0,5	1,5	5	15
2 g	0,012	0,040	0,12	0,4	1,2	4	12
1 g	0,010	0,030	0,10	0,3	1,0	3	10
500 mg	0,008	0,025	0,08	0,25	0,8	2,5	-
200 mg	0,006	0,020	0,06	0,20	0,6	2,0	-
100 mg	0,005	0,015	0,05	0,15	0,5	1,5	-
50 mg	0,004	0,012	0,04	0,12	0,4	-	-
20 mg	0,003	0,010	0,03	0,10	0,3	-	-
10 mg	0,002	0,008	0,025	0,08	0,25	-	-
5 mg	0,002	0,006	0,020	0,06	0,20	-	-
2 mg	0,002	0,006	0,020	0,06	0,20	-	-
1 mg	0,002	0,006	0,020	0,06	0,20	-	-

1. PORTARIA 233 Inmetro – ERRO MÁXIMO PERMITIDO

A classe de exatidão dos pesos utilizados como instrumentos de pesagem devem estar de acordo com o prescrito para “Instrumentos de Pesagem a funcionamento não automático”. Descrito na portaria 236.

APLICABILIDADE DA MASSA PADRÃO PARA UTILIZAÇÃO NA RESPECTIVA BALANÇA.

E1 - Pesos destinados a assegurar a rastreabilidade entre os padrões de massa nacional e os pesos de classe inferior E2;

F1; E2 - Pesos destinados a serem utilizados com instrumentos de pesagem de classe de exatidão I.

F2- Pesos destinados a serem utilizados nas transações comerciais importantes (ex.:ouro e pedras preciosas), com instrumentos de pesagem de classe de exatidão II.

1. PORTARIA 233 Inmetro – ERRO MÁXIMO PERMITIDO

APLICABILIDADE DA MASSA PADRÃO PARA UTILIZAÇÃO NA RESPECTIVA BALANÇA.

M1 - Pesos destinados a serem utilizados com instrumentos de pesagem de classe de exatidão II;

M2 - Pesos destinados às transações comerciais normais com os instrumentos de pesagem de classe de exatidão III;

M3 - Pesos destinados a serem utilizados com os instrumentos de pesagem de classe de exatidão III e IV.

1. PORTARIA 233 Inmetro – INFLUÊNCIAS FÍSICAS NAS PESAGENS DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE A MASSA E A BALANÇA

Efeito: O resultado de uma pesagem muda constantemente em uma direção, no dispositivo de indicação.

Causa: Diferenças de temperatura entre o peso-padrão e a câmara de pesagem produzem correntes de ar (turbulência), que alteram os valores de massa indicados. O ar movendo-se ao longo do peso-padrão, produz uma força em uma direção vertical de cima para baixo ou vice-versa. O efeito não desaparece até que o equilíbrio térmico seja estabelecido. Ocorre principalmente nas pesagens em microbalanças, onde um objeto frio aparenta ser mais pesado que um objeto quente.

Medidas Corretivas:

- Estabelecer o equilíbrio térmico entre o pesos-padrão e a temperatura do laboratório ou câmara de pesagem da balança.
- Manusear os pesos-padrão apenas com pinças ou garfos.
- Evitar colocar as mãos dentro da câmara de pesagem da balança.

1. PORTARIA 233 Inmetro – INFLUÊNCIAS FÍSICAS NAS PESAGENS

PESAGEM DE SUBSTANCIA VOLÁTEIS - EVAPORAÇÃO

Efeito: O resultado de uma pesagem aumenta ou diminui vagarosamente, no dispositivo de indicação.

Causa: A diminuição da massa em determinadas pesagens, é devido à evaporação do filme de água ou alguma substância volátil. Já o ganho de massa, está associado a absorção de água na superfície. Geralmente ocorre em pesagens de substâncias que absorvem umidade, como a madeira ou cortiça.

Medidas Corretivas:

- Manter o prato da balança livre de sujeira, contaminantes e água.
- Pegar os pesos-padrão com luvas de algodão dando preferência às pinças ou garfos, pois as mãos são uma fonte de umidade e acidez.
- Evitar manter o prato das balanças forrado com papelão ou cortiça, pois são substâncias higroscópicas.
- Usar recipientes de vidro de boca estreita e se for o caso, usar rolhas para a vedação dos recipientes.

1. PORTARIA 233 Inmetro – INFLUÊNCIAS FÍSICAS NAS PESAGENS

INFLUÊNCIA ELETROSTÁTICA

Efeito: O dispositivo de indicação apresenta diferentes valores de massa para um mesmo objeto. A instabilidade na calibração resulta em uma baixa repetibilidade.

Causa: Os objetos a serem pesados tornam-se carregados eletrostaticamente, devido à fricção durante o manuseio ou transporte. A força eletrostática pode aparecer entre o objeto e a balança em ambientes com umidade relativa do ar inferior a 40 %.

Medidas Corretivas:

- A balança deve estar adequadamente aterrada.
- Os objetos carregados eletrostaticamente podem ser descarregados através de um barramento de metal devidamente aterrado ao solo.
- A umidade relativa do ar no local da pesagem não deve ser inferior a 40 %.
- Usar pulseiras ou tapetes antiestáticos, que devem ser selecionados de acordo com o tipo do material a ser pesado (plástico, vidro, etc.).

1. PORTARIA 233 Inmetro – INFLUÊNCIAS FÍSICAS NAS PESAGENS MUDANÇA DE ALTURA NA MEDIÇÃO DE MASSA

Efeito: Os valores de massa no dispositivo de indicação poderiam ser diferentes, se as calibrações fossem realizadas em locais que tivessem uma diferença de altura de aproximadamente 10 metros. Por exemplo, calibrar um peso-padrão no 1º andar e em seguida no 4º andar de um prédio.

Causa: Para determinar a massa de um corpo, a balança utiliza-se da condição gravitacional da Terra. A força de atração gravitacional depende exclusivamente da latitude e da altura do objeto, a partir do centro da Terra.

Medidas Corretivas:

- Não mover a balança de lugar .

1. PORTARIA 233 Inmetro – INFLUÊNCIAS FÍSICAS NAS PESAGENS

VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NO LABORATÓRIO

Efeito: Um objeto pesado no ar e no vácuo não reflete o mesmo valor de massa indicado no mostrador da balança.

Causa: Pelo Princípio de Archimedes, ao se imergir um objeto num fluido, este recebe uma força, proporcional ao volume de fluido deslocado por este corpo. Como o ar de massa específica $1,2 \text{ kg/m}^3$ é o meio de pesagem, este produz um empuxo que atua no objeto a ser pesado.

Medidas Corretivas:

Quando se deseja realizar calibrações em diferentes dias, deve-se considerar as variações de temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa do ar, a fim de calcular a média do efeito do empuxo do ar.

1. PORTARIA 233 Inmetro – INFLUÊNCIAS FÍSICAS NAS PESAGENS

A calibração de pesos deve ser efetuada sob condições ambientais estáveis, pressão atmosférica conhecida e temperatura de $(20,0 \pm 1,0)^\circ\text{C}$.

A diferença de temperatura entre a massa padrão e o ambiente deve ser a menor possível. Isto pode ser conseguido colocando a massa padrão e a balança dentro do mesmo ambiente durante 30 min antes de executar a calibração.

As balanças devem ser usadas após 30 min de ligadas. Essa recomendação é mais importante a medida que a medição for de capacidade cada vez menor.

Balanças de grande capacidade (50 kg ou mais) sofrem menor influencia das variáveis ambientais (temperatura, umidade e pressão atmosférica)

Já as balanças de precisão, analíticas e micro balanças, são fortemente afetadas por esses variáveis.

1. PORTARIA 233 Inmetro – INFLUÊNCIAS FÍSICAS NAS PESAGENS

Os pesos devem ser manipulados e armazenados de maneira a se manterem limpos. Antes da calibração qualquer partícula estranha e umidade devem ser eliminadas usando papel macio sem deixar película, pincel de pelo de camelo ou outro método de limpeza mais elaborado que se faça necessário. Deve-se tomar cuidado no manuseio dos pesos (sempre usar luva de algodão branca), a fim de não alterar as condições superficiais, através de arranhões ou amassados.

Caso o peso apresente impurezas que não sejam possíveis de serem removidas pelos métodos mencionados acima, pode-se usar localmente, álcool isopropílico.

Pesos que tenham cavidade de ajuste, nunca devem ser imersos em solvente pela possibilidade do solvente penetrar na cavidade. Quando da necessidade de se determinar à estabilidade temporal do peso, a massa do peso deve ser verificada antes e depois da limpeza. O processo de limpeza não deve remover quantidade significativa de material.

1.1 EXERCÍCIO - Com base no certificado de calibração das massas abaixo, determine sua classe de exatidão.

LOR NOMINAL	FORMATO	IDENTIFICAÇÃO	MARCAÇÃO	MASSA CONVENCIONAL	INCERTEZA	V_{eff}	k
1 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	1 mg -0,002 mg	$\pm 0,006$ mg	=	2,00
2 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	2 mg -0,002 mg	$\pm 0,006$ mg	=	2,00
2 mg	LÂMINA	CPP-01	PONTO	2 mg 0,000 mg	$\pm 0,006$ mg	=	2,01
5 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	5 mg -0,001 mg	$\pm 0,006$ mg	=	2,00
10 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	10 mg -0,009 mg	$\pm 0,006$ mg	=	2,00
20 mg	LÂMINA	CPP-01	PONTO	20 mg -0,002 mg	$\pm 0,01$ mg	=	2,00
50 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	50 mg -0,001 mg	$\pm 0,012$ mg	=	2,01
100 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	100 mg -0,006 mg	$\pm 0,015$ mg	=	2,00
200 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	200 mg + 0,000 mg	$\pm 0,02$ mg	=	2,00
200 mg	LÂMINA	CPP-01	PONTO	200 mg + 0,004 mg	$\pm 0,02$ mg	=	2,00
500 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	500 mg -0,014 mg	$\pm 0,025$ mg	=	2,00
1 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	1 g + 0,00 mg	$\pm 0,03$ mg	=	2,00
2 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	2 g -0,01 mg	$\pm 0,04$ mg	=	2,00
2 g	BOTÃO	CPP-01	PONTO	2 g -0,01 mg	$\pm 0,04$ mg	=	2,00
5 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	5 g -0,02 mg	$\pm 0,05$ mg	=	2,00
10 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	10 g + 0,00 mg	$\pm 0,06$ mg	=	2,00
20 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	20 g -0,05 mg	$\pm 0,08$ mg	=	2,00
20 g	BOTÃO	CPP-01	PONTO	20 g + 0,02 mg	$\pm 0,08$ mg	=	2,00
50 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	50 g + 0,00 mg	$\pm 0,1$ mg	=	2,00
100 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	100 g + 0,05 mg	$\pm 0,15$ mg	=	2,00
200 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	200 g -0,10 mg	$\pm 0,3$ mg	=	2,00
200 g	BOTÃO	CPP-01	PONTO	200 g -0,08 mg	$\pm 0,3$ mg	=	2,00
500 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	500 g -0,3 mg	$\pm 0,75$ mg	=	2,00
1 kg	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	1 kg -0,3 mg	± 2 mg	=	2,00

2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Balanças

Instrumento de medição utilizado para determinar a massa de um corpo, utilizando-se da ação da gravidade sobre este corpo. Estes instrumentos podem servir igualmente para determinar outras grandezas, quantidades ou características em função da massa. De acordo com seu método de operação, um instrumento de pesagem é classificado como um instrumento automático ou não automático.



Balança de precisão. Resolução
0,1 g.
Capacidade até 2000 g

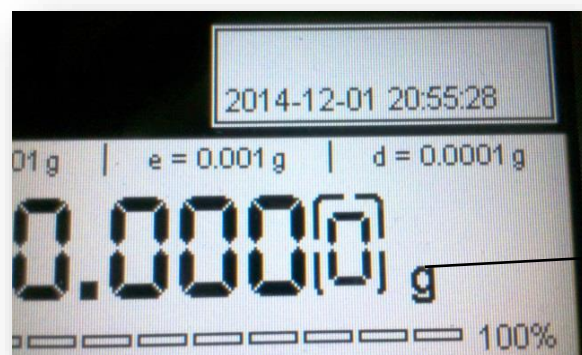
2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Valor de divisão de verificação (e)

Valor expresso em unidades de massa utilizado para a classificação e a verificação de um instrumento.

O valor de divisão de verificação, para os diferentes tipos de instrumentos, deve ser como estabelecido na Tabela abaixo

Tipo de instrumento	Valor de divisão de verificação
Graduado sem dispositivo indicador auxiliar	$e = d$
Graduado com dispositivo indicador auxiliar	e é estabelecido pelo fabricante
Não graduado	e é estabelecido pelo fabricante







Dispositivo indicador auxiliar

2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Classes de exatidão

São estabelecidas as seguintes classes de exatidão e seus símbolos:

- a) Exatidão especial, símbolo 
- b) Exatidão fina, símbolo 
- c) Exatidão média, símbolo 
- d) Exatidão ordinária, símbolo 

2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Classificação das balanças

O valor de divisão de verificação, o número de valores de divisão de verificação e a carga mínima devem ser como estabelecido na Tabela 2 em função da classe de exatidão dos instrumentos.

Classe de Exatidão	Valor de divisão de verificação (e)	Número de valores de divisão de verificação (n = Max/e)		Carga mínima (limite inferior)
		Mínimo	Máximo	
Especial (I)	$0,001 \text{ g} \leq e$	5.0000		100 e
Fina (II)	$0,001 \text{ g} \leq e \leq 0,05 \text{ g}$	100	100.000	20 e
	$0,1 \text{ g} \leq e$	5.000	100.000	50 e
Média (III)	$0,1 \text{ g} \leq e \leq 2 \text{ g}$	100	10.000	20 e
	$5 \text{ g} \leq e$	500	10.000	20 e
Ordinária (IIII)	$5 \text{ g} \leq e$	100	1000	10 e

A carga mínima do instrumento é determinada conforme as condições estabelecidas na tabela acima, na qual o valor de divisão de verificação e, é substituído pelo valor de divisão real d.

2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Exercício 2.1

Com base na figura ao lado, com dados de uma balança Sartorius, determine o que se pede

- a) Resolução (d)
- b) Valor de verificação (e)
- c) Carga máxima (Max)
- d) N° de valores de verificação (n)
- e) Carga mínima
- f) Classe da balança

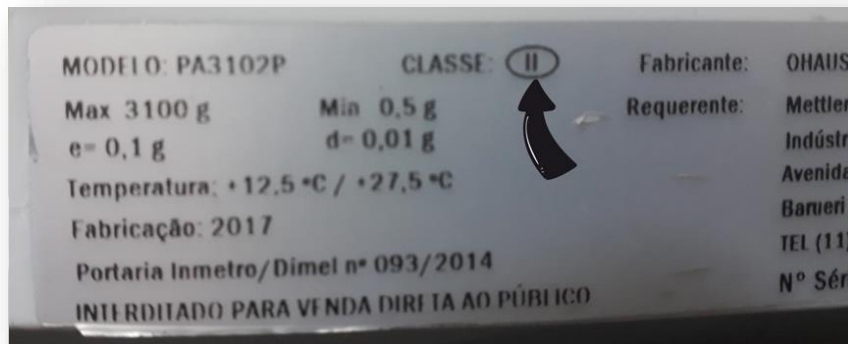


2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Exercício 2.2

Com base na figura ao lado, com dados de uma balança Ohaus, determine o que se pede

- Resolução (d)
- Valor de verificação (e)
- Carga máxima (Max)
- Nº de valores de verificação (n)
- Carga mínima
- Classe da balança



2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Exercício 2.3

A balança abaixo possui carga máxima de 200 kg, $e = d = 50$ g, determine:

- Nº de valores de verificação (n)
- Classe da balança
- Carga mínima



2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Erro Máximo Permitido para balanças. (EMP)

Os erros máximos permitidos para as cargas crescentes e decrescentes são estabelecidos na tabela abaixo.

EMP	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IIII
$\pm 0,5 e$	$0 \leq m \leq 50.000$	$0 \leq m \leq 5.000$	$0 \leq m \leq 500$	$0 \leq m \leq 50$
$\pm 1,0 e$	$50.000 \leq m \leq 200.000$	$5.000 \leq m \leq 20.000$	$500 \leq m \leq 2.000$	$50 \leq m \leq 200$
$\pm 1,5 e$	$200.000 < m$	$20.000 < m \leq 100.000$	$2.000 < m \leq 10.000$	$200 < m \leq 1.000$

Atenção: as massas m são expressas em valores de verificação (e)

Os erros máximos permitidos em serviço são iguais ao dobro dos erros máximos permitidos na verificação inicial.

2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Exercício resolvido – EMP

Considere uma balança com resolução (d) igual a 0,01 g e elegibilidade (e) igual a 0,1 g. Sua carga máxima é de 4000 g. Sabendo que a sua classe de exatidão é II, determine seu EMP.

EMP	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IIII
$\pm 0,5 e$	$0 \leq m \leq 50.000$	$0 \leq m \leq 5.000$	$0 \leq m \leq 500$	$0 \leq m \leq 50$
$\pm 1,0 e$	$50.000 \leq m \leq 200.000$	$5.000 \leq m \leq 20.000$	$500 \leq m \leq 2.000$	$50 \leq m \leq 200$
$\pm 1,5 e$	$200.000 < m$	$20.000 < m \leq 100.000$	$2.000 < m \leq 10.000$	$200 < m \leq 1.000$

Como a massa m é expressão em valores de e , temos para a classe II, segundo a tabela acima:

Massa medida entre: 0 e $5000 \times 0,1 = 500$ g; EMP = $0,5 \times 0,1 = 0,05$ g

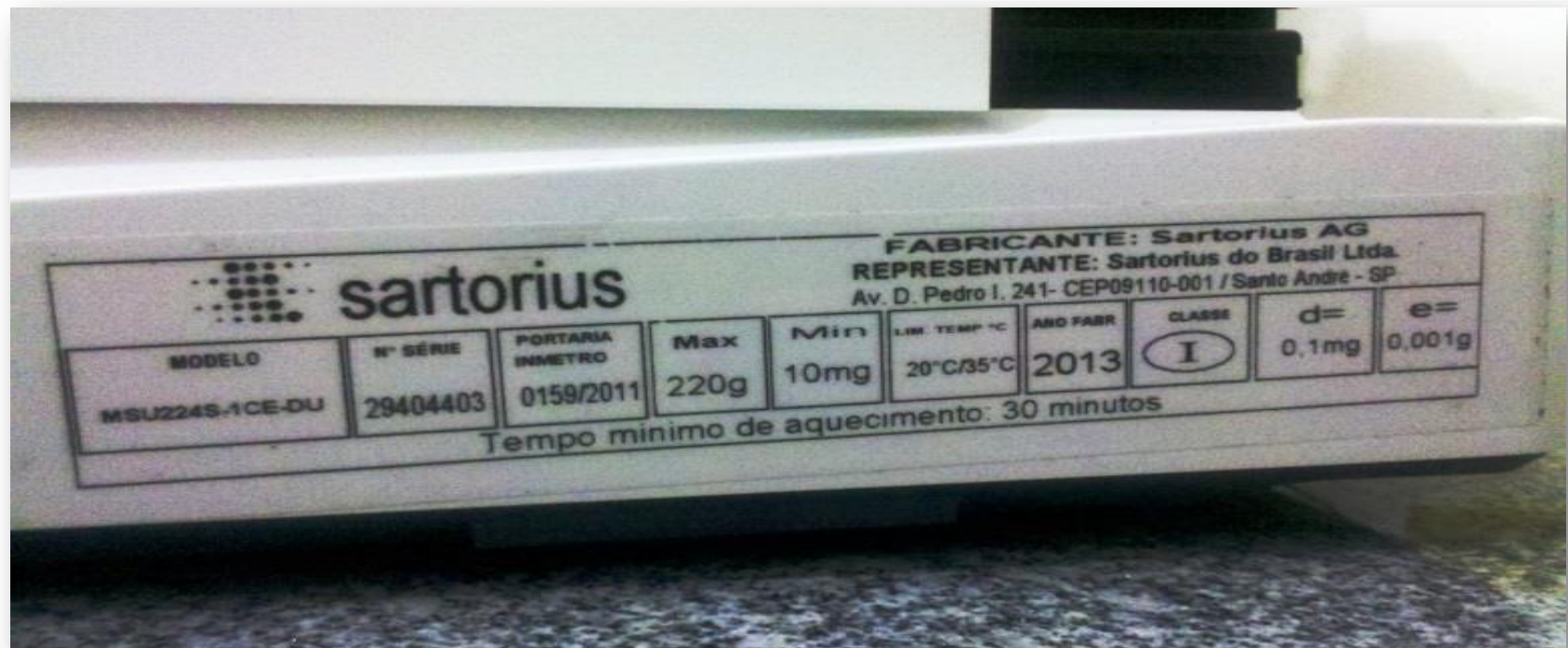
Massa medida entre: 500 e $20.000 \times 0,1 = 2.000$ g; EMP = $1,0 \times 0,1 = 0,1$ g

Massa medida entre: 2.000 e $100.000 \times 0,1 = 10.000$ g; EMP = $1,5 \times 0,1 = 0,15$ g

2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Exercício 2.4

A imagem abaixo representa as informações do fabricante de uma balança Sartorius, com base nela, determine o EMP da balança.



2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Exercício 2.5

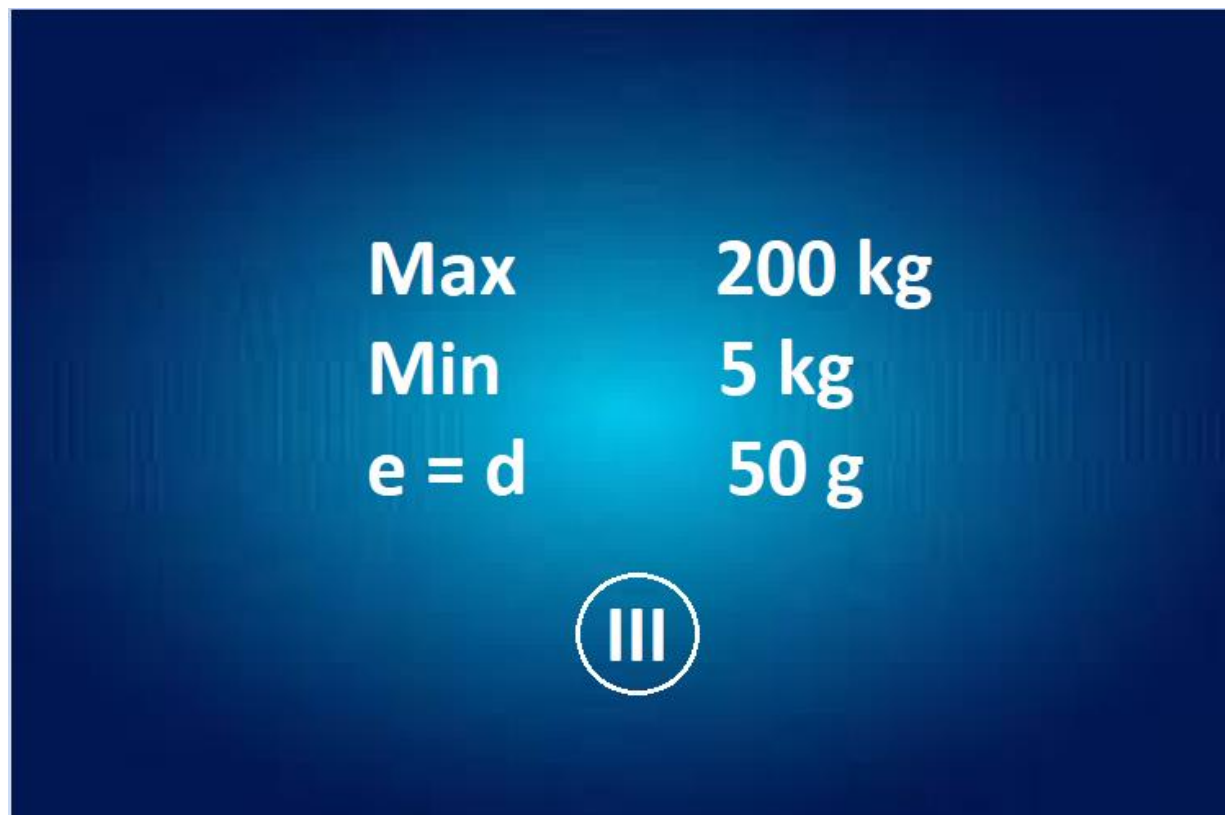
A imagem abaixo representa as informações do fabricante de uma balança Ohaus, com base nela, determine o EMP da balança.



2. PORTARIA 236 Inmetro – CLASSE DE EXATIDÃO DAS BALANÇAS

Exercício 2.6

A imagem abaixo representa as informações do fabricante da balança, com base nela, determine o EMP da balança.



2. PORTARIA 236 E 233 Inmetro – PESO PADRÃO PARA BALANÇAS

Menor Classe de Pesos-padrão Requerida para Diferentes Tipos de Balança								
Resolução	100 g	10 g	1 g	0,1 g	0,01 g	0,001 g	0,0001 g	≤ 0,0001 g
Capacidade								
Até 200 g				M1	M1	F2	F1	E2
200 g a 1 kg			M1	M1	F2	F1/E2	E2	E2
1 kg a 30 kg	M2	M2	M1	F2	E2	E2	E2	
30 kg a 100 kg	M2	M1	F2	F1	E2			
Acima de 100 kg	M2	M1/F2	F1	E2				

2. PORTARIA 236 Inmetro – CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS

Resolução

A resolução de uma balança é a menor diferença entre dois valores medidos que podem ser lidos no dispositivo de indicação. Em um dispositivo de indicação digital o menor incremento numérico também é denominado de divisão de escala.

Em função de suas resoluções as balanças podem ser denominadas de:

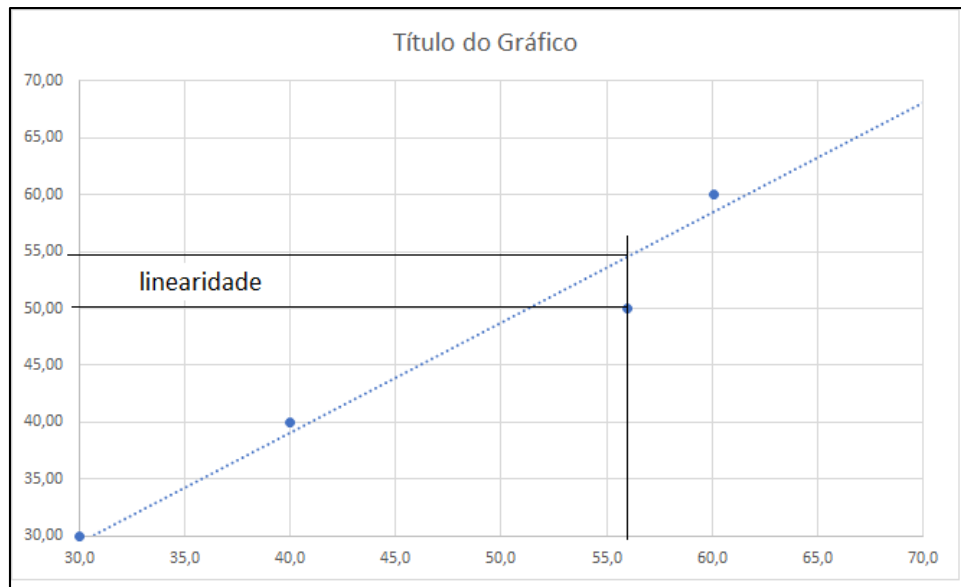
Denominação	Resolução	Capacidade
Balanças de Precisão	> 0,001 g	> 100 g
Balanças Analíticas	0,0001 g (4 casas)	(50 – 500) g
Balanças Semi-micro	0,00001 g (5 casas)	(30 – 200) g
Balanças Micro	0,000001 g (6 casas)	(1 – 25) g
Balanças Ultra-micro	0,0000001 g (7 casas)	até 5 g

2. PORTARIA 236 Inmetro – CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS

Erro de Linearidade

A linearidade indica como a balança é capaz de seguir a relação linear entre a carga aplicada e o valor indicado (escala linear). A curva característica de pesagem é idealizada como uma linha reta entre o zero e a carga máxima.

Por outro lado, a não linearidade define a largura da banda que pode ser negativa ou positiva, e representa o desvio entre o valor ideal e o obtido em uma pesagem real.



2. PORTARIA 236 Inmetro – CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS

Erro de Linearidade - Exercício 2.7

Determine o erro de linearidade da balança abaixo.

CARGA		1° PONTO	2° PONTO	3° PONTO	4° PONTO	5° PONTO
		0,0020 g	5,0001 g	200,0000 g	260,0000 g	520,0000 g
LEITURAS SEM AJUSTE	1°	0,0020 g	5,0001 g	200,0001 g	259,9999 g	520,0000 g
	2°	0,0020 g	5,0001 g	200,0001 g	259,9999 g	520,0000 g
	3°	0,0020 g	5,0001 g	200,0000 g	259,9999 g	520,0000 g
	4°	0,0020 g	5,0000 g	200,0000 g	259,9999 g	520,0000 g
	5°	0,0020 g	5,0001 g	200,0000 g	259,9999 g	520,0000 g
	6°	0,0020 g	5,0000 g	200,0000 g	259,9999 g	520,0000 g
MÉDIA DAS LEITURAS		0,0020 g	5,0001 g	200,0000 g	259,9999 g	520,0000 g

2. PORTARIA 236 Inmetro – CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS

REPETIBILIDADE

É a medida da capacidade da balança de fornecer o mesmo resultado em pesagens consecutivas, com uma mesma carga e sob as mesmas condições de medição.

Particularmente em balanças de elevada precisão, a repetitividade é uma propriedade que não depende somente da balança. São também de grande influência os seguintes aspectos: layout do laboratório, flutuações de temperatura, vibrações, habilidades do operador.

Balança com alta repetibilidade ou seja, com pequena dispersão dos valores quando comparada a sua resolução (1/100 ou 1/1000 da resolução) será precisa e conseqüentemente terá baixa incerteza de medição.

2. PORTARIA 236 Inmetro – CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS

DERIVA DA BALANÇA

Mudança de características metrologias ao longo do tempo. Ou durante o uso, devido a variação de algum fator de influência importante para o desempenho da balança.

São causas de deriva:

1. Efeito da variação de temperatura no resultado da medição, proveniente da irradiação térmica do operador ou instabilidade térmica do laboratório.
2. Deriva da massa padrão – Mudança do valor da tendência da massa padrão entre duas calibrações consecutivas da massa padrão.

2. PORTARIA 236 Inmetro – CUIDADOS NO MANUSEIO DAS BALANÇAS

BANCADA DE TRABALHO

- Transmissão da menor vibração possível.
- A bancada não deve flexionar-se quando se realizam pesagens.
- Ser protegida contra cargas eletrostáticas.
- Estar sobre o piso ou fixa na parede, mas nunca simultaneamente em ambos.
- Reservada apenas como local de trabalho para balanças.

LABORATÓRIO

- Ser adaptado para minimizar choques e vibrações.
- Possuir apenas uma entrada. De preferência porta de corre.
- Possuir o menor número de janelas, se possível nenhuma.
- Posicionar as bancadas nos vértices do laboratório pois são os locais mais rígidos e com menos vibrações.

2. PORTARIA 236 Inmetro – CUIDADOS NO MANUSEIO DAS BALANÇAS

CONDIÇÕES AMBIENTAIS RECOMENDADAS EM LABORATÓRIOS DE CALIBRAÇÃO

Um controle rigoroso das condições ambientais é fundamental nas calibrações realizadas em um laboratório de massa. Deve-se manter o ambiente de medição o mais estável possível, a fim de melhor analisar as fontes de influência. As fontes de influências mais comuns são:

- a) A temperatura no laboratório deve ser mantida constante em $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$
- b) Nunca se deve realizar pesagens nas proximidades de aquecedores (produção de correntes de ar).
- c) Umidade Relativa do Ar (40 a 60 %)
- d) Evitar luz solar direta.
- e) As lâmpadas deveriam ser instaladas a uma distância suficiente para evitar irradiação térmica, especialmente as incandescentes. Lâmpadas de led são melhores.
- f) Sem interferências eletromagnéticas

2. PORTARIA 236 Inmetro – CUIDADOS NO MANUSEIO DAS BALANÇAS

CONDIÇÕES AMBIENTAIS RECOMENDADAS EM LABORATÓRIOS DE CALIBRAÇÃO

- g) Evitar pesar próximo de ar condicionado ou unidades com ventilador (computadores).
- h) Nunca pesar próximo da porta.
- i) Pressão Atmosférica (900 a 1100 hPa)
- j) Sem vibrações
- k) Sem partículas de poeira
- l) Sem interferências eletromagnéticas

2. PORTARIA 236 Inmetro – CUIDADOS NO MANUSEIO DAS BALANÇAS

ROTINA EM USO

- a) Verificar se a balança está nivelada.
- b) Evitar abrir em demasia a balança, a fim de prevenir turbulências de ar e trocas de temperatura.
- c) Manter a balança conectada à rede para estabelecer o equilíbrio térmico dos componentes eletrônicos.
- d) Evitar usar recipientes feitos de plástico e vidro, em locais com umidade abaixo de 40 % (eletrostática).
- e) Os pesos-padrão ou objetos a serem pesados devem estar na mesma temperatura do laboratório, a fim de prevenir correntes de ar.
- f) Evitar colocar as mãos dentro da câmara de pesagem. (usar pinças)
- g) Colocar os pesos-padrão e objetos que serão pesados, no centro do prato da balança.
- h) Manter a balança e os pesos-padrão sempre bem limpos.
- i) Não manter a balança carregada com os pesos-padrão após realizar as calibrações.

2. PORTARIA 236 Inmetro - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

Para realizar a calibração de uma balança, alguns passos devem ser realizados antecipadamente. Resumidamente podemos citar os seguintes:

- i. Assegurar que antes de calibrar as balanças, as mesmas, se forem eletrônicas, devem estar conectadas a rede elétrica com meia hora de antecedência para o pré-aquecimento dos elementos eletrônicos.
- ii. Verificar se a bancada é rígida o suficiente.
- iii. Verificar se a balança está nivelada.
- iv. Proceder a limpeza do prato e da câmara de pesagem com a ajuda de um pincel de pelo de camelo, preferencialmente.

2. PORTARIA 236 Inmetro - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

Para realizar a calibração de uma balança, alguns passos devem ser realizados antecipadamente. Resumidamente podemos citar os seguintes:

- v. Selecionar a classe de peso-padrão correspondente a classe de exatidão da balança.
- vi. Posicionar os padrões próximo da balança e esperar 30 min para a estabilidade térmica dos mesmos com a balança.
- vii. Posicionar adequadamente os termo-higrômetros.

2. PORTARIA 236 Inmetro - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

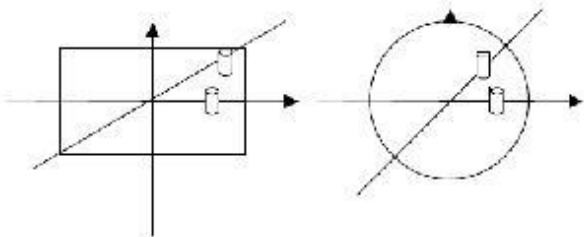
a) Repetibilidade das leituras

A repetibilidade das leituras será representada pela maior incerteza tipo A encontrada nos pontos 10%; 50%; 100% da faixa de medição da balança. Em cada ponto serão realizadas 5 medições. A repetibilidade será dada pelo maior desvio padrão da média das medições.

b) Excentricidade da balança.

Este efeito ocorre quando o centro do objeto a ser medido não coincide com o centro do prato da balança.

A excentricidade será determinada colocando-se uma massa de valor entre 30% a 50% da faixa de medição da balança em diferentes posições como mostra a figura abaixo. O valor da excentricidade será dado pela equação:



$$Exc = X_{\max} - X_{\min}$$

2. PORTARIA 236 Inmetro - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

c) Histerese.

Este fenômeno ocorre em sistemas mecânicos por rolamento ou atrito entre as peças. É determinada pela maior diferença entre a carga e descarga sofrida pelo instrumento. No caso, a balança analítica.

Sua determinação se dará utilizando uma massa de valor 50% da faixa de medição da balança. O procedimento será o seguinte:

Coloca-se a massa equivalente a 50% da faixa de medição da balança, no centro do prato, e anota o valor encontrado (M1).

Adiciona-se uma segunda massa extra à primeira, de aproximadamente 20% da faixa de medição da balança, e em seguida retira-se a massa extra. Anota-se o valor encontrado para a massa (M2).

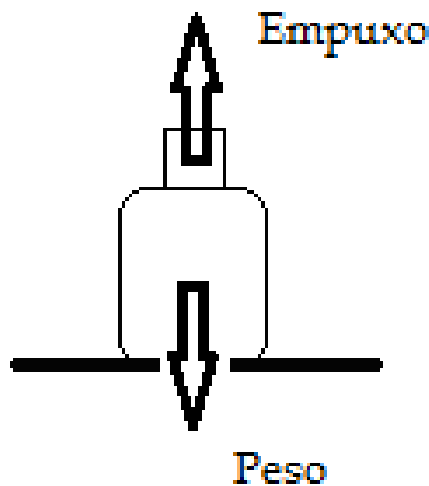
A histerese será o modulo da diferença entre M1 e M2.

$$H = |M_1 - M_2|$$

2. PORTARIA 236 Inmetro - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

d) Correção devido ao empuxo das massas padrão

O empuxo do ar sobre cada massa padrão torna o valor de seu peso menor do que deveria ser. Pois, o empuxo é uma força que o fluido, ao redor do corpo, exerce atuando de baixo para cima.



2. PORTARIA 236 Inmetro - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

d) Correção devido ao empuxo das massas padrão

Sendo E o empuxo do ar e P o peso da massa padrão.

A leitura da balança deveria corresponder ao valor da massa proveniente do peso P . Mas, como o ar exerce uma força E de baixo para cima, a leitura da balança fica menor do que deveria ser. Para efetuarmos a correção, devemos determinar o valor do empuxo E e corrigirmos esta distorção.

Podemos adotar como incerteza do empuxo como uma fração do valor da massa padrão de acordo com a sua classe.

1. Peso padrão classe E2: incerteza do empuxo = 1ppm (10^{-6}) do valor da massa utilizada.
2. Peso padrão classe F1 e F2: incerteza do empuxo = 2ppm (2×10^{-6}) do valor da massa utilizada.
3. Peso padrão classe M1, M2 e M3: incerteza do empuxo = 3ppm (3×10^{-6}) do valor da massa utilizada.

3. ESTATÍSTICA APLICADA – TESTE DE GRUBBS

TESTE DE VALOR EXTREMO (GRUBBS)

O teste de Grubbs é realizado para verificar a existência de um valor aberrante em um conjunto de dados. Se nesta primeira análise, um dos dois valores extremos for considerado aberrante, ele é rejeitado e retirado do conjunto e um novo teste é feito. Caso contrário, se nesta primeira análise os valores forem aceitos, o teste é encerrado.

TESTE DE VALOR EXTREMO (GRUBBS)

Dado um conjunto de p dados, dispostos em ordem crescente, a determinação, pelo teste de Grubbs, quanto aos valores extremos, ser um valor discrepante, é dada pela equação abaixo.

$$G_C = \frac{|g_i - \bar{g}|}{s}$$

3. ESTATÍSTICA APLICADA – TESTE DE GRUBBS

TESTE DE VALOR EXTREMO (GRUBBS)

Onde:

g_i é o valor suspeito;

\bar{g} é o valor médio;

s é o desvio padrão amostral de uma distribuição normal

O valor G_c calculado é comparado com um valor crítico, para um nível de significância escolhido. Um valor aberrante é detectado se $G_{\text{calculado}} > G_{\text{tabelado}}$.

3. ESTATÍSTICA APLICADA – TESTE DE GRUBBS

Exercício 3.1

Determine, se entre as medições das massas dos dados abaixo, existem valores aberrantes para um nível de confiança de 95%.

Massa	1	2	3	4	5	6	7
(g)	159	153	184	153	150	147	156

Exercício 3.2

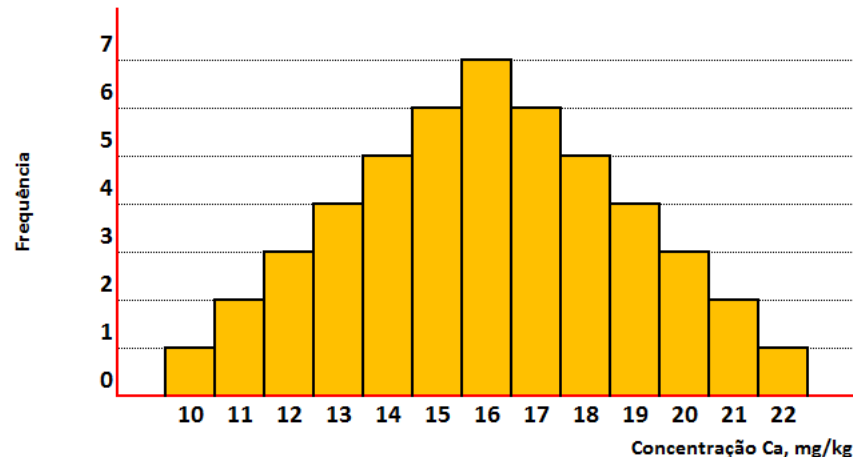
Determine, se entre as medições das massas específicas dos dados abaixo, existem valores aberrantes para um nível de confiança de 95%.

ρ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(g/mL)	11,9	12,0	11,9	11,9	12,0	12,2	11,9	11,9	11,9	12,1	12,6

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Histograma

O histograma é um gráfico de barras retangulares, encostadas umas nas outras, cujo propósito é representar a distribuição das frequências relativas ou absolutas do conjunto de dados. Para construí-lo manualmente precisamos primeiro elaborar a tabela de frequências. As bases dos retângulos do histograma representam cada classe da tabela de frequências e a altura das barras é proporcional a frequência contida nas classes. A escala horizontal do gráfico é quantitativa e a escala vertical indica a frequência absoluta ou relativa, conforme ilustrado na Figura abaixo.



3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Média aritmética amostral.

Popularmente conhecida por média, é a medida de tendência central mais simples e também a mais empregada na descrição quantitativa do conjunto de dados que corresponde à soma de todos os valores pertencentes ao conjunto de dados divididos pelo número de dados desse conjunto, conforme a equação abaixo.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

\bar{x} = média aritmética

n = quantidade de dados ou tamanho da amostra

x_i = i -ésimo valor da grandeza ou variável x

$\sum_{i=1}^n x_i$ = soma de todos os valores do conjunto de dados

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Modelos de Distribuição de Probabilidades

Existem diferentes modelos de distribuição de probabilidades, dentre os quais podemos citar a distribuição uniforme, triangular, normal, t-Student, log normal, entre outras. Todas elas são importantes e têm um papel específico na estatística. No entanto, dentre as distribuições citadas, as mais utilizadas na metrologia são a **distribuição uniforme, triangular, normal e t-Student**, que serão objeto de nossa discussão a seguir.

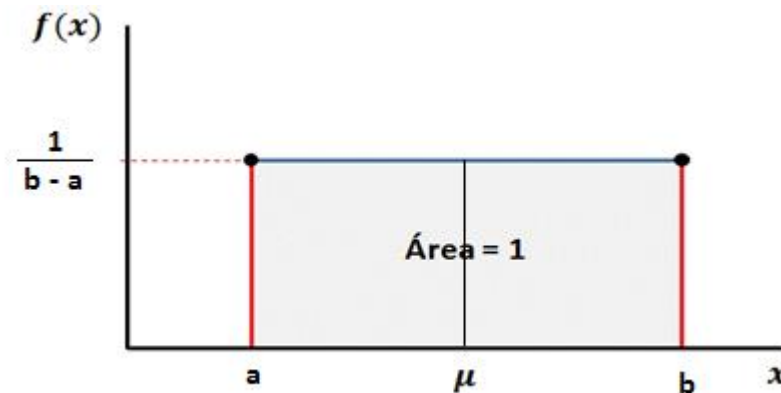
Independente da denominação, a distribuição de probabilidades associa uma probabilidade a cada resultado numérico de um experimento, ou seja, fornece a probabilidade de ocorrência em maior ou menor extensão para cada valor da variável aleatória, seja ela discreta ou contínua.

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Modelos de Distribuição de Probabilidades - Distribuição uniforme ou retangular

Vamos iniciar pela mais simples das distribuições contínuas e que servirá de base para o entendimento das demais distribuições: a distribuição uniforme ou retangular. Na metrologia é importante, no que concerne à estimativa de incertezas de medição.

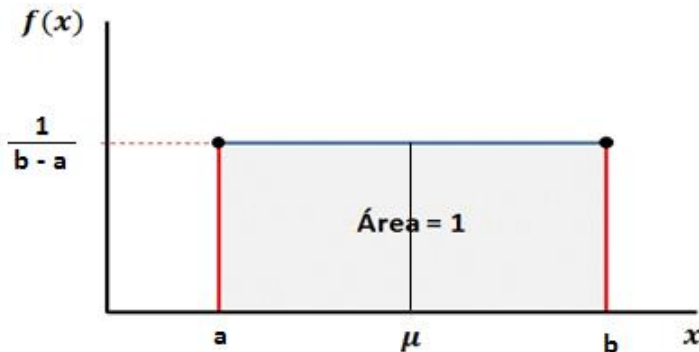
Na figura abaixo, a variável “a-” é o limite inferior da distribuição e a variável “a+” é o limite superior do intervalo. O intervalo fechado [a-; a+] é a faixa de valores na qual existe a probabilidade de ocorrer qualquer valor.



3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Modelos de Distribuição de Probabilidades - Distribuição uniforme ou retangular

Geometricamente constatamos que a base do retângulo corresponde à amplitude de variação do intervalo definido. A altura equivale a função $f(x)$ e por sua vez a área da figura corresponde a 1 (100%), que nada mais é que o somatório da probabilidade de todos os valores contidos no intervalo $[a; a+]$. Dessa forma, é possível generalizar a função densidade de probabilidade para qualquer distribuição uniforme da seguinte forma:



$$\bar{x} = \frac{b+a}{2} \text{ é a média da distribuição}$$

$$S = \frac{b-a}{2\sqrt{3}} \text{ é o desvio padrão da distribuição}$$

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

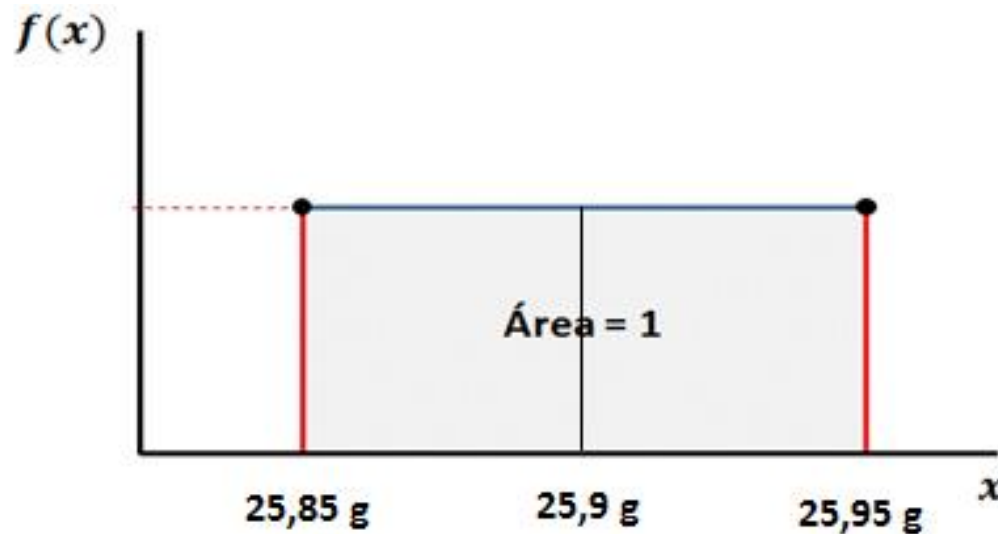
Exemplo de uma distribuição Uniforme na incerteza da resolução de um instrumento digital.

Suponha que o valor da massa de um objeto seja 25,9 g e que a balança digital utilizada para essa medição tenha uma resolução de 0,1 g. Isto significa dizer que a balança lê incrementos de 0,1g em 0,1g. Considerando o algoritmo existente na balança digital, responsável pela digitalização dos valores indicados, o “valor verdadeiro” da massa estará compreendido entre o intervalo [25,85 g a 25,95 g]. Valores como 25,95 g, ou maiores, deverão ser arredondados pelo instrumento para 26,0 g; da mesma forma que valores como 25,84 g, ou menores, para 25,8 g.

Logo, toda vez que a balança indicar 25,9 g teremos uma dúvida do “verdadeiro valor” da massa em questão, ocasionada pela sua limitação de resolução.

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Considerando que a probabilidade do “valor verdadeiro” estar compreendido entre [25,85 g a 25,95 g] é a mesma dentro deste intervalo, é razoável adotar uma distribuição estatística que reflita este comportamento, ou seja, a distribuição retangular ou uniforme. Na Figura a seguir temos:



3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Exemplo de aplicação de uma distribuição Uniforme

Observe que a incerteza de medição da resolução da balança será o desvio padrão da distribuição retangular com $a = 28,85$ g e $b = 29,95$ g, ou seja:

$$\text{desvio padrão} = \frac{0,1}{2\sqrt{3}} = \frac{0,1}{\sqrt{12}}$$

É por essa razão que muitos calculam a incerteza da resolução como sendo:

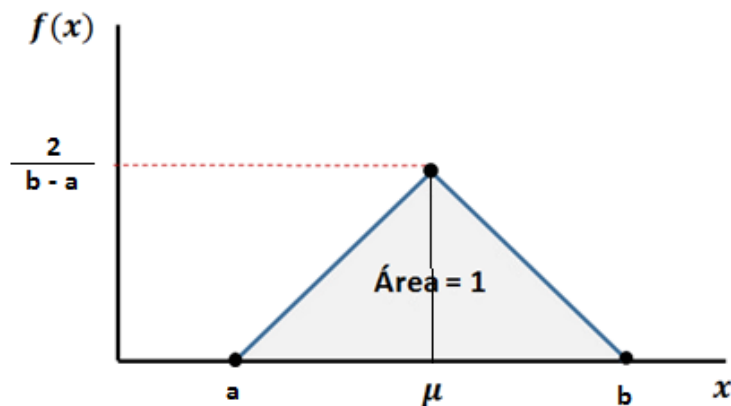
$$u_{\text{resolução}} = \frac{\text{resolução}}{\sqrt{12}}$$

Atenção! Sempre devemos usar a distribuição uniforme quando formos calibrar instrumentos com leitura digital.

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Modelos de Distribuição de Probabilidades - Distribuição Triangular

Em muitos casos, é mais realista esperar que valores perto dos limites sejam menos prováveis do que os que estejam perto do ponto médio. É então razoável substituir a distribuição retangular simétrica por uma distribuição triangular.



$\bar{x} = \frac{b+a}{2}$ é a media da distribuição

$s = \frac{b-a}{2\sqrt{6}}$ é o desvio padrão da distribuição

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Exemplo de aplicação de uma distribuição Triangular

Suponha que na calibração de um manômetro, com intervalo de medição (0 a 50) bar e resolução 1 bar, ao utilizarmos uma bomba comparadora fixamos os pontos de calibração no manômetro objeto em 10 bar, 20 bar, 30 bar, 40 bar e 50 bar (Figura ao lado).

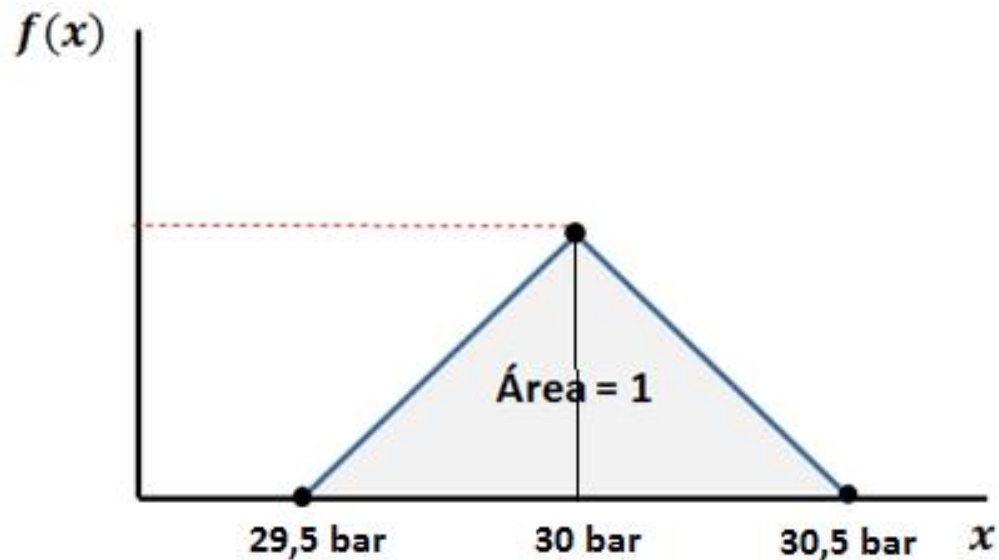
Esses valores foram fixados, de forma a apresentar uma probabilidade de ocorrência maior do que qualquer outro.

Para o ponto 30 bar, por exemplo, o “valor verdadeiro” da pressão estará compreendido no intervalo [29,5 bar a 30,5 bar]. Valores como 30,5 bar, ou maiores, serão arredondados para 31 bar, da mesma forma que valores como 29,4 bar, ou menores, para 29 bar.



3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Considerando que a probabilidade do “valor verdadeiro” é maior no ponto 30 bar do que em qualquer outro ponto, porque fixamos neste valor, é razoável adotar uma distribuição estatística que reflita este comportamento, ou seja, a distribuição triangular. Na figura ao lado, temos:



3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Exemplo de aplicação de uma distribuição Triangular

Observe que a incerteza de medição da resolução do manômetro será o desvio padrão da distribuição triangular com $a = 29,5$ bar e $b = 30,5$ bar, ou seja:

$$\text{desvio padrão} = \frac{1}{2\sqrt{6}} = \frac{1}{\sqrt{24}}$$

É por essa razão que muitos calculam a incerteza da resolução como sendo:

$$u_{\text{resolução}} = \frac{\text{resolução}}{\sqrt{24}}$$

Atenção! Sempre devemos usar a distribuição triangular quando o valor lido no objeto for determinado fixando um ponto, um valor previamente determinado na calibração.

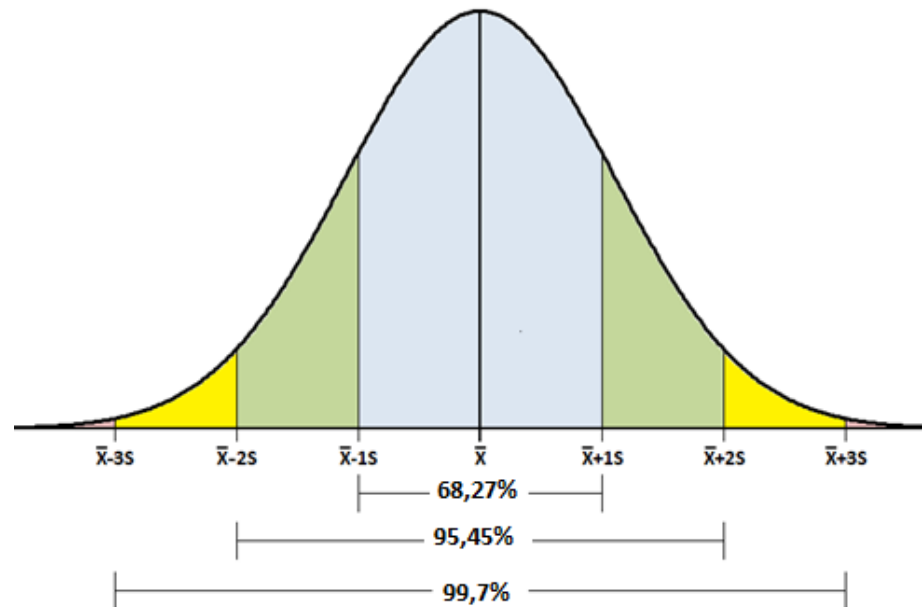
Exemplos típicos: calibração de manômetro analógicos e calibração de relógio comparador

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Distribuição Normal ou Gaussiana

Nas avaliações de incerteza de medição do Tipo A é muitas vezes feita a suposição de que a distribuição que melhor descreve uma grandeza de entrada X , havendo repetidos valores, é uma distribuição gaussiana. A grandeza X tem então média igual a \bar{X} e desvio-padrão da média igual a $\frac{s}{\sqrt{n}}$, onde s é o desvio padrão amostral e n o numero de medições repetidas num mesmo ponto.

A Figura ao lado mostra a regra empírica em que 68,27 %, 95,45 % e 99,7 % dos valores estão contidos entre um, dois e três desvios-padrão em torno da média aritmética numa distribuições Normal ou Gaussiana.



3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Desvio Padrão Amostral (s) de uma distribuição Normal

O desvio padrão amostral (s) descreve a variação do conjunto ou série de dados na unidade original da medida. Dessa forma, o desvio padrão é uma medida de dispersão muito útil para descrever a variabilidade do conjunto de dados. A unidade de medida do desvio padrão sempre corresponderá à unidade da grandeza que está sob investigação. A equação abaixo representa o desvio padrão amostral de uma distribuição Normal.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Onde s é o desvio padrão amostral; n o número de medições; x_i é o i-ésimo valor da variável medida e \bar{x} é a média aritmética das medições.

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

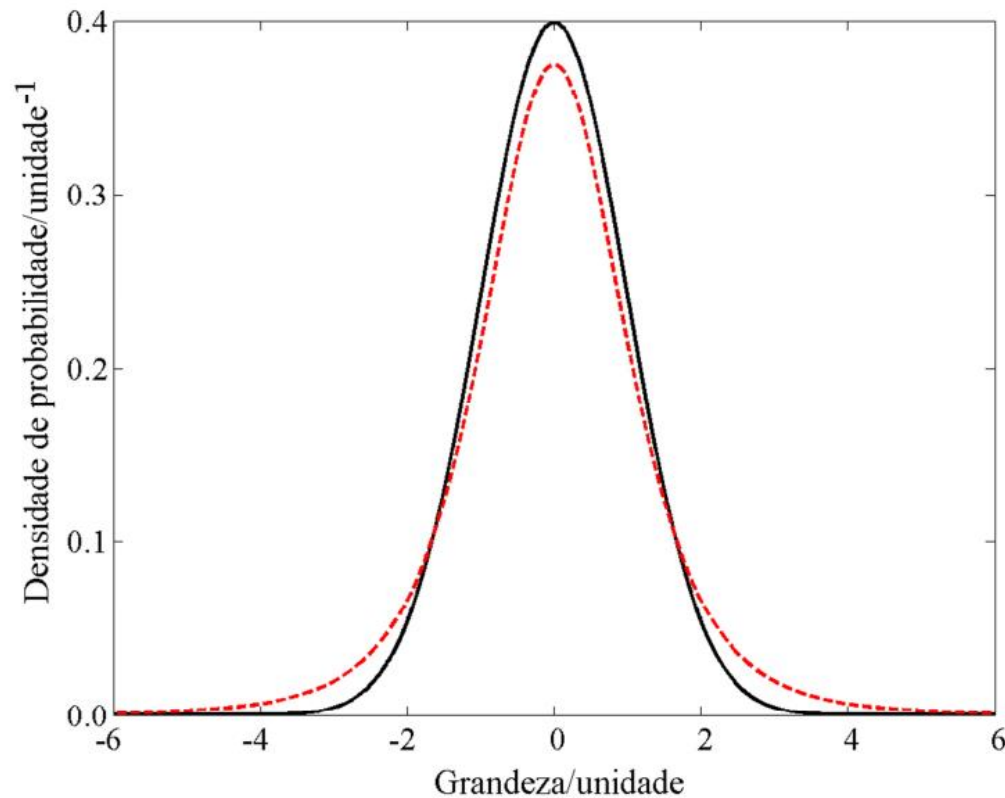
DISTRIBUIÇÃO T- STUDENT

Considera-se que a distribuição que melhor descreve uma grandeza de entrada X , havendo repetidos valores, é uma distribuição Normal. A grandeza X tem então média igual a \bar{X} e desvio-padrão da média igual a $\frac{s}{\sqrt{n}}$, onde s é o desvio padrão amostral e n o número de medições repetidas num mesmo ponto.

Quando a incerteza é avaliada a partir de um pequeno número de valores ($n < 30$), a distribuição correspondente pode ser tomada como uma distribuição- t (t -Student). A Figura a seguir mostra uma distribuição gaussiana e uma distribuição- t (curva tracejada) com $n = 5$.

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

DISTRIBUIÇÃO NORMAL E DISTRIBUIÇÃO T- STUDENT



Em vermelho – distribuição t-Student.

Em preto – distribuição Gaussiana ou Normal.

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO

DISTRIBUIÇÃO T-STUDENT

Sabemos que é necessário um grande número de amostras ($n \geq 30$) para se obter uma distribuição próxima à normal. Esse planejamento de amostra é inviável, e na prática trabalhamos, na maioria das vezes, com $n < 10$. Por esse motivo, precisamos aplicar fatores de correção baseado na distribuição de probabilidades t-Student, aproximando a distribuição de pequenas amostras à distribuição normal.

Amostras de tamanho grande tornam-se bastante dispendiosas, demandam tempo e oneram o custo da medição. Felizmente, William Gosset desenvolveu uma distribuição alternativa para compensar esses inconvenientes, a chamada distribuição t-Student, que fornece valores tabelados em função do grau de liberdade ($n-1$) da amostra associado às respectivas probabilidades.

3. ESTATÍSTICA APLICADA – INCERTEZA DE MEDIÇÃO



William Sealy Gosset (1876-1937): Químico e matemático. Trabalhou para Arthur Guinness de 1899 até 1935, na cervejaria Guinness. Na época, Guinness buscava cientistas que pudessem apresentar suas habilidades para o processo de fabricação de cerveja, e Gosset não o decepcionou. Em 1904 ele escreveu um relatório interno intitulado “A aplicação da Lei do Erro”, no qual introduziu varias metodologias estatísticas para a indústria cervejeira.

O primeiro artigo de Gosset foi uma aplicação da distribuição de Poisson na contagem de leveduras. Para muitos usuários da Estatística, o nome William Gosset pode soar desconhecido. No entanto, o pseudônimo **Student** revela-o como um dos estatísticos mais importantes e brilhantes da história.

n	GL (n-1)	Nível de Confiança ou Probabilidade de Abrangência								
		50%	68,27%	70%	80%	90%	95%	95,45%	99%	99,73%
Nível de Significância (a)										
2	1	1,00	1,84	1,96	3,08	6,31	12,71	13,97	63,66	235,8
3	2	0,82	1,32	1,39	1,89	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
4	3	0,76	1,20	1,25	1,64	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
5	4	0,74	1,14	1,19	1,53	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
6	5	0,73	1,11	1,16	1,48	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
7	6	0,72	1,09	1,13	1,44	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
8	7	0,71	1,08	1,12	1,41	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
9	8	0,71	1,07	1,11	1,40	1,86	2,31	2,37	3,36	4,28
10	9	0,70	1,06	1,10	1,38	1,83	2,26	2,32	3,25	4,09
11	10	0,70	1,05	1,09	1,37	1,81	2,23	2,28	3,17	3,96
12	11	0,70	1,05	1,09	1,36	1,80	2,20	2,25	3,11	3,85
13	14	0,69	1,04	1,08	1,35	1,77	2,16	2,21	2,98	3,69
14	13	0,69	1,04	1,08	1,35	1,77	2,16	2,21	3,01	3,69
15	14	0,69	1,04	1,08	1,35	1,76	2,14	2,20	2,98	3,64
16	15	0,69	1,03	1,07	1,34	1,75	2,13	2,18	2,95	3,59
17	16	0,69	1,03	1,07	1,34	1,75	2,12	2,17	2,92	3,54
18	17	0,69	1,03	1,07	1,33	1,74	2,11	2,16	2,90	3,51
19	18	0,69	1,03	1,07	1,33	1,73	2,10	2,15	2,88	3,48
20	19	0,69	1,03	1,07	1,33	1,73	2,09	2,14	2,86	3,45
21	20	0,69	1,03	1,06	1,33	1,72	2,09	2,13	2,85	3,42
22	21	0,69	1,02	1,06	1,32	1,72	2,08	2,13	2,83	3,40
23	22	0,69	1,02	1,06	1,32	1,72	2,07	2,12	2,82	3,38
24	23	0,69	1,02	1,06	1,32	1,71	2,07	2,11	2,81	3,36
25	24	0,68	1,02	1,06	1,32	1,71	2,06	2,11	2,80	3,34
26	25	0,68	1,02	1,06	1,32	1,71	2,06	2,11	2,79	3,33
27	26	0,68	1,02	1,06	1,31	1,71	2,06	2,10	2,78	3,32
28	27	0,68	1,02	1,06	1,31	1,70	2,05	2,10	2,77	3,30
29	28	0,68	1,02	1,06	1,31	1,70	2,05	2,09	2,76	3,29
30	29	0,68	1,02	1,06	1,31	1,70	2,05	2,09	2,76	3,28
∞	∞	0,67	1,00	1,04	1,28	1,64	1,96	2,00	2,58	3,00

4. GUIA PARA EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO (ISO GUM 2008)

Incerteza tipo A

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

Para uma medição bem caracterizada sob controle estatístico, uma estimativa do desvio padrão da média (incerteza tipo A) é dada pela expressão:

$$s(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Onde n é o número de medições repetidas num mesmo ponto e s o desvio padrão amostral de uma distribuição normal.

NOTA: a incerteza da repetibilidade é determinada pela equação acima.

4. GUIA PARA EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO (ISO GUM 2008)

Incerteza tipo B

Avaliação duma componente da **incerteza de medição** determinada por meios diferentes daquele adotado para uma **avaliação do Tipo A da incerteza de medição**.

- a) **Incerteza da resolução** – causada pela dúvida gerada na leitura devido a resolução do instrumento.
- b) **Incerteza da deriva do padrão** – variação com o tempo da tendência do padrão utilizado na calibração. Neste caso, devemos determinar a incerteza da deriva subtraindo a tendência do padrão em dois anos consecutivos.
- c) **Incerteza do padrão** – incerteza associada ao padrão utilizado na calibração.
- d) **Incerteza da excentricidade** – incerteza devido a influência da variação na leitura da balança quando a massa é colocada fora do centro do prato da balança.
- e) **Incerteza da histerese** – Incerteza provocada pela histerese na leitura da massa quando em carga e descarga.

4. GUIA PARA EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO (ISO GUM 2008)

Incerteza do padrão: incerteza associada ao padrão utilizado na calibração.

Incerteza da repetibilidade das medições: incerteza estimada pelo desvio padrão da média.

Incerteza-padrão (VIM 2012): Incerteza de medição expressa na forma de um desvio-padrão.

Incerteza-padrão combinada (VIM 2012): Incerteza-padrão obtida ao se utilizarem incertezas-padrão individuais associadas às grandezas de entrada num modelo de medição.

4. GUIA PARA EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO (ISO GUM 2008)

DETERMINANDO A INCERTEZA-PADRÃO COMBINADA – UC

$$uc^2(Y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 u^2(X_i)$$

Nota 1: A derivada parcial $\frac{\partial f}{\partial X_i}$ é denominada COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE da grandeza X_i .

O coeficiente de sensibilidade $\frac{\partial f}{\partial X_i}$, descreve como a estimativa da grandeza de saída Y varia com alterações nos valores das estimativas de entrada $X_1; X_2; \dots X_n$

4. GUIA PARA EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO (ISO GUM 2008)

Nota 2: Quando realizamos uma medição direta temos uma única variável de interesse. Deste modo o coeficiente de sensibilidade é igual a 1. Logo: $\left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right) = 1$. A equação para determinar a incerteza combinada padrão passa a ser:

$$u^2(Y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2 u^2(X_i)$$
$$u^2(Y) = \sum_{i=1}^n u^2(X_i)$$
$$u_c(Y) = \sqrt{uA^2 + uB^2}$$

Onde uA é a incerteza tipo A e uB são todas as fontes de incertezas padronizada tipo B.

4. GUIA PARA EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO (ISO GUM 2008)

Incerteza-padrão (VIM 2012): Incerteza de medição expressa na forma dum desvio-padrão.

incerteza-padrão combinada (VIM 2012): Incerteza-padrão obtida ao se utilizarem incertezas-padrão individuais associadas às grandezas de entrada num modelo de medição.

$$u_c(Y) = \sqrt{uA^2 + uB^2}$$

Então, estimamos as incertezas tipo A e B e a seguir combinamos seus valores numa soma quadrática. Em seguida, extraímos a raiz quadrada dessa soma obtendo a incerteza padrão combinada.

4. GUIA PARA EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO (ISO GUM 2008)

INCERTEZA EXPANDIDA – U

Produto dum **incerteza-padrão combinada** por um fator maior do que o número um. O fator depende da **probabilidade de abrangência** escolhida. O termo “fator” nesta definição se refere ao **fator de abrangência (k)**.

$$U = k \cdot u_c$$

A incerteza expandida é usualmente declarada, inclusive nos certificados de calibração e ensaio, com uma probabilidade de 95,45%.

Deste modo, devemos determinar o grau de liberdade efetivo e consultar na tabela t-Student qual o fator de abrangência k está associado ao grau de liberdade efetivo com 95,45% de probabilidade.

4. GUIA PARA EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO (ISO GUM 2008)

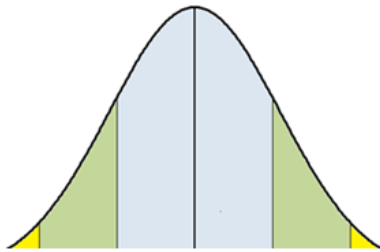
Graus de Liberdade efetivo (ν_{eff}): O número de graus de liberdade efetivo é o número de graus de liberdade associado à incerteza padrão combinada. Recomenda-se a utilização da equação de Welch-Satterthwaite para estimar o número de graus de liberdade efetivo:

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}}$$

Onde u_c é a incerteza combinada; u_i são todas as incertezas envolvidas e ν_i é o grau de liberdade associados a cada incerteza envolvida.

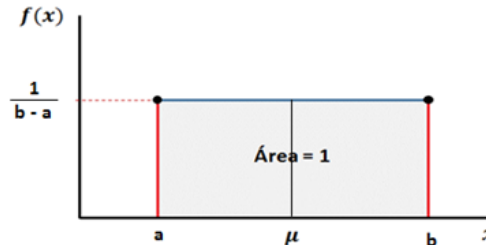
Nota: Segundo o documento de referência EA-4/02, a incerteza final deve ser expressa com no máximo 2 algarismos significativos.

4. (ISO GUM 2008) TEOREMA DO LIMITE CENTRAL COMBINAÇÕES DE DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE



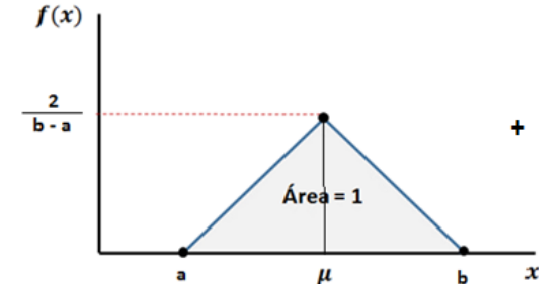
incerteza tipo A
dist t-student - $GL = n-1$
 $GL = 4-1 = 3$

+



incerteza da resolução (digital)
incerteza histerese
incerteza da deriva do padrão
dist uniforme
 $GL = infinito$

+

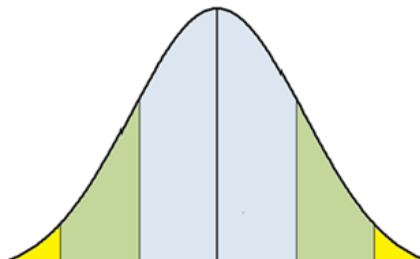


incerteza da resolução (analógico)
dist triangular
 $GL = infinito$

+

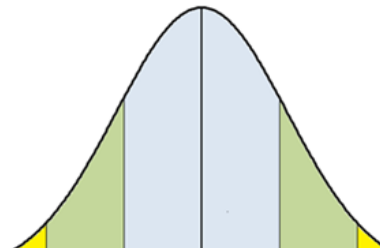
$$GL\ efetivo = \frac{uc^4}{\frac{uA^4}{4-1} + \frac{up^4}{GL_{padr\tilde{a}o}}}$$

+



incerteza do padrão
dist normal
 $GL =$ verificar no certificado do padrão

=



incerteza padrão combinada (final)
 $GL =$ usar a formula abaixo
Dist Normal

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

1. Incerteza tipo A – repetibilidade da balança

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

2. Incerteza da resolução da balança

$$u_{res} = \frac{\textit{resolução}}{\sqrt{12}}$$

3. Incerteza da excentricidade da balança

$$u_{exc} = \frac{\textit{excentricidade}}{\sqrt{12}}$$

4. Incerteza da histerese da balança

$$u_{hist} = \frac{\textit{histerese}}{\sqrt{12}}$$

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

5. Incerteza da massa padrão – ver certificado de calibração das massas

$$u_{\text{padrão}} = \frac{U}{k}$$

6. Incerteza da deriva da massa padrão

$$u_{\text{deriva}} = \frac{\Delta E}{\sqrt{12}} \quad \text{ou} \quad u_{\text{deriva}} = \frac{\text{EMP da massa}}{3\sqrt{3}}$$

Onde ΔE é a diferença do erro de medição ou tendência entre os dois últimos certificados de calibração das massas padrão utilizadas na calibração.

Caso não tenha realizado duas calibrações ainda, usar o EMP das massas existente na portaria 233.

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

7. Incerteza devido a variação da temperatura durante a calibração da balança

$$u_{temperatura} = \frac{\bar{x} \cdot T_c \cdot \Delta T}{\sqrt{12}}$$

Onde

\bar{x} é a média das medições em cada ponto calibrado.

T_c é a constante de temperatura da balança. Localizada no seu manual.

ΔT é a variação de temperatura do laboratório durante a calibração em relação ao ponto de referencia de 20 °C

8. Incerteza do empuxo sobre as massas padrão

Massa padrão classe E2: 1ppm (10^{-6}) do valor da massa utilizada.

Massa padrão classe F1 e F2: 2ppm (2×10^{-6}) do valor da massa utilizada.

Massa padrão classe M1, M2 e M3: 3ppm (3×10^{-6}) do valor da massa utilizada.

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

Exercício 5.1 – Calibração de Balança Analítica

Determine a incerteza e o erro de medição da balança analítica de resolução ($d = 0,0001$ g, elegibilidade ($e = 0,001$ g), faixa de medição de 10 mg a 220 g e classe I. Adote o certificado de calibração das massas em anexo

1 g	20 g	50 g	100 g	120 g	150 g	220 g	Ponto (Exc.)	Ponto (Hist.)
1,0000	20,0001	49,9998	99,9997	119,9991	149,9991	219,9991	99,9992	99,9994
0,9999	19,9999		99,9995			219,9993	99,9995	99,9993
1,0000	19,9999		99,9995			219,9997	99,9994	
0,9999	20,0000		99,9991			219,9992	99,9990	
1,0000	19,9997		99,9993			219,9992		

5. FONTES DE INCERTEZA NA CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS

MASSA NOMINAL	FORMATO	IDENTIFICAÇÃO	MARCAÇÃO	MASSA CONVENCIONAL	INCERTEZA	V_{eff}	k
1 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	1 mg -0,002 mg	$\pm 0,006$ mg	∞	2,00
2 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	2 mg -0,002 mg	$\pm 0,006$ mg	∞	2,00
2 mg	LÂMINA	CPP-01	PONTO	2 mg 0,000 mg	$\pm 0,006$ mg	∞	2,01
5 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	5 mg -0,001 mg	$\pm 0,006$ mg	∞	2,00
10 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	10 mg -0,009 mg	$\pm 0,006$ mg	∞	2,00
20 mg	LÂMINA	CPP-01	PONTO	20 mg -0,002 mg	$\pm 0,01$ mg	∞	2,00
50 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	50 mg -0,001 mg	$\pm 0,012$ mg	∞	2,01
100 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	100 mg -0,006 mg	$\pm 0,015$ mg	∞	2,00
200 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	200 mg + 0,000 mg	$\pm 0,02$ mg	∞	2,00
200 mg	LÂMINA	CPP-01	PONTO	200 mg + 0,004 mg	$\pm 0,02$ mg	∞	2,00
500 mg	LÂMINA	CPP-01	NÃO POSSUI	500 mg -0,014 mg	$\pm 0,025$ mg	∞	2,00
1 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	1 g + 0,00 mg	$\pm 0,03$ mg	∞	2,00
2 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	2 g -0,01 mg	$\pm 0,04$ mg	∞	2,00
2 g	BOTÃO	CPP-01	PONTO	2 g -0,01 mg	$\pm 0,04$ mg	∞	2,00
5 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	5 g -0,02 mg	$\pm 0,05$ mg	∞	2,00
10 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	10 g + 0,00 mg	$\pm 0,06$ mg	∞	2,00
20 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	20 g -0,05 mg	$\pm 0,08$ mg	∞	2,00
20 g	BOTÃO	CPP-01	PONTO	20 g + 0,02 mg	$\pm 0,08$ mg	∞	2,00
50 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	50 g + 0,00 mg	$\pm 0,1$ mg	∞	2,00
100 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	100 g + 0,05 mg	$\pm 0,15$ mg	∞	2,00
200 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	200 g -0,10 mg	$\pm 0,3$ mg	∞	2,00
200 g	BOTÃO	CPP-01	PONTO	200 g -0,08 mg	$\pm 0,3$ mg	∞	2,00
500 g	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	500 g -0,3 mg	$\pm 0,75$ mg	∞	2,00
1 kg	BOTÃO	CPP-01	NÃO POSSUI	1 kg -0,3 mg	± 2 mg	∞	2,00

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

Segundo o documento DOQ CGCRE 36 (abril 2020)

ORIENTAÇÕES SOBRE VERIFICAÇÃO

INTERMEDIÁRIA DAS BALANÇAS, temos os seguintes procedimentos a seguir na verificação intermediarias de balança.

- Recomenda-se o uso de intervalos iniciais de calibração anuais ou semestrais, a serem ajustados a partir da análise do histórico da balança.
- A calibração deve ser realizada no local de trabalho habitual. As balanças devem estar instaladas respeitando as instruções dos fabricantes, normalmente em mesas próprias, longe de fontes de calor, luz solar direta e correntes de ar.

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

- Algumas balanças apresentam funções de compensação da deriva resultante de alterações na temperatura, desgaste dos componentes eletrônicos em função do tempo de uso, etc. Além dessas facilidades, há instrumentos que, ao serem ligados, devem ser submetidos à chamada “autocalibração” antes que a rotina de pesagens seja iniciada. Tais funcionalidades podem requerer utilização de pesos externos (fornecidos junto com a balança e segundo indicações do manual do usuário) ou a ativação do carregamento de pesos internos (que podem ser artefatos ou carga gerada a partir de sinais elétricos).
- Normalmente, o emprego de tais recursos não altera as condições inerentes à balança e não invalidam os resultados relatados no certificado da última calibração realizada, desde que sejam tomadas algumas precauções:

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

- a) os procedimentos para iniciar as medições e realizar “autocalibração” e ajustes devem estar claramente definidos na documentação do laboratório e serem informados aos fornecedores de serviços de calibração. Isso é importante, pois a mesma rotina deverá ser seguida para conferir validade aos resultados da calibração;
- b) é importante que tanto o laboratório detentor da balança quanto o laboratório que irá efetuar a calibração utilizem os mesmos pesos para efetuarem os ajustes (preferencialmente aqueles fornecidos com a balança) definidos no procedimento de utilização da balança, para que as correções resultantes do certificado de calibração permaneçam válidas durante o intervalo de calibração definido pelo usuário.

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

- A periodicidade das verificações intermediárias (diário, semanal, etc.) deve ser estabelecida com base na experiência e condições de utilização da balança. Este controle permite avaliar e otimizar os prazos de calibração estabelecidos, bem como detectar antecipadamente avarias ou falhas. Uma avaliação da tendência permite, também, identificar possíveis impactos nos resultados de medição e tomar as ações necessárias para solucionar o problema.
- Não é necessário que o Laboratório efetue as verificações intermediárias em todos os pontos da faixa de pesagem da balança. Deve-se levar em conta, no entanto, que as balanças nem sempre apresentam comportamento linear, ou seja, sua curva de erros não aumenta (ou decresce) na mesma proporção ao longo da faixa da pesagem.

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

- Sendo assim, é recomendável que o Laboratório selecione pontos de verificação intermediária da faixa de utilização da balança de forma representativa, sendo um dos pontos próximo da capacidade máxima (em torno de 80%).
- Por exemplo, para uma balança de faixa de pesagem de 1 mg a 220 g que seja utilizada em toda a faixa, convém que seja feita a verificação em pelo menos um ponto entre 1 mg e 100 mg, um ponto entre 1 g e 100 g e outro em 200 g. Convém utilizar uma composição com o menor número possível de pesos para cada ponto (preferencialmente um único peso por ponto), para que os erros e incertezas sejam minimizados.
- O valor de massa utilizado como referência para as verificações da balança deve ser o valor declarado no certificado de calibração (valor convencional, por exemplo: 100,005 g), e não o valor nominal do peso padrão (100 g nesse mesmo exemplo).

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

- Outro fator a ser observado é que o peso padrão utilizado deve ter sido calibrado com uma incerteza apropriada à resolução da balança a ser verificada.
- Quer sejam utilizados pesos padrão calibrados ou não calibrados, para que as verificações intermediárias sejam eficazes, devem ser manuseados e armazenados com cuidados tais que seus valores não se modifiquem em função de arranhões, poeira, contaminação, etc.
- Entre os procedimentos existentes para a verificação intermediária de balanças, apresentamos dois métodos que se complementam: a verificação simples em pontos selecionados e a verificação da repetitividade.

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

Verificação simples em pontos selecionados

A verificação simples em cada ponto da série escolhida em função da faixa de trabalho da balança tem por objetivo avaliar se as características da balança não se alteraram significativamente desde a última calibração.

Para cada ponto selecionado da faixa de pesagem, convém que o Laboratório realize o seguinte procedimento:

Pesagem:

- a) tarar a balança e registrar a leitura no ponto zero (z_1);
- b) posicionar o peso (M) na balança e registrar a leitura da indicação da balança (m_1);
- c) retirar o peso da balança. **Não** tarar a balança;
- d) posicionar o peso (M) na balança e registrar a leitura da indicação da balança (m_2);
- e) retirar o peso da balança e registrar a leitura (z_2).

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

Verificação simples em pontos selecionados

Calcular a correção para cada pesagem:

$$C1 = M - (m1 - z1)$$

$$C2 = M - (m2 - z2)$$

$$\text{Correção do usuário} = (C1 + C2)/2$$

Caso o valor da correção se modifique em mais de três vezes o desvio padrão da repetitividade fornecido no certificado de calibração da balança no ponto verificado, então a balança pode requerer manutenção, ajuste e nova calibração. Após a nova calibração, o usuário deve verificar se a balança continua a atender às tolerâncias do seu processo.

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

Verificação da repetitividade

A verificação da repetitividade tem por objetivo determinar se a resposta da balança se altera com a rotina de pesagens, e é feita realizando-se uma série de 10 medições em um mesmo ponto. Se o desvio padrão obtido for significativo em relação às tolerâncias definidas para o processo de pesagem, ele é comparado com o desvio padrão relatado no certificado da última calibração, para o mesmo ponto.

Esse procedimento deve ser realizado em cada faixa, quando se tratarem de balanças de múltiplas faixas.

O valor do peso utilizado deve ser próximo à capacidade máxima da balança em cada faixa de pesagem.

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

Para cada ponto, convém que o Laboratório realize o seguinte procedimento:

Pesagem:

- a) tarar a balança e registrar a leitura no ponto zero (z_1);
- b) posicionar o peso (M) na balança e registrar a leitura da indicação da balança (m_1);
- c) retirar o peso da balança e registrar a leitura da indicação da balança (z_2);
- d) sem tarar a balança, posicionar o mesmo peso na balança e registrar a leitura da indicação (m_2);
- e) retirar o peso da balança e registrar a leitura (z_3);
- f) repetir os passos (d) e (e) até que sejam obtidas 10 leituras.

Calcular a diferença (r_i) entre cada leitura de pesagem e a leitura do zero correspondente:

$$r_i = m_i - z_i$$

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

Calcular o desvio padrão (s) das diferenças r_1, r_2, r_n utilizando a fórmula:

$$s_{\text{usuário}} = \sqrt{[\sum (r_i - R)^2 / (n-1)]}, \text{ onde: } i = 1 \text{ até } n$$

R = média dos valores de r_i

Se o desvio padrão ($s_{\text{usuário}}$) for menor que duas vezes o desvio padrão da repetitividade obtido na última calibração (s certificado de calibração), a balança continua adequada para uso.

Nota - Nem sempre o certificado de calibração traz o valor do desvio padrão das leituras e o desvio padrão da repetitividade. Nesses casos, o laboratório deve solicitar ao fornecedor do serviço de calibração que inclua essas informações, quando da análise da contratação do serviço.

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

Recomendam-se as seguintes frequências para as calibrações e verificações:

a) **Balanças:**

a.1) calibração a cada 12 meses;

a.2) verificações diárias ou a cada uso;

a.3) verificações intermediárias – verificação simples em pontos selecionados: a cada mês;

a.4) verificações intermediárias – verificação da repetitividade – a cada 06 meses.

b) **Pesos padrão:** calibração a cada 5 anos.

c) **Pesos de valor designado:** verificações contra pesos padrão calibrados (anualmente) ou pesagem direta nas balanças imediatamente após a calibração destas.

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

Exercício 5.2 – Verificação simples de balança

Com base nos dados da balança do exercício 2.7, analise, a luz do documento orientativo DOQ CGCRE 36, se a balança está aprovada na verificação intermediária. Para o teste de verificação intermediária vamos checar os pontos

1 g; 10 g; 100 g; 300 g e 500 g.

PONTO 1 g		
Z (g)	m (g)	M (g)
0,0000	0,9999	1,00000
0,0000	0,9999	1,00000
PONTO 10 g		
Z (g)	m (g)	M (g)
0,0000	10,0002	10,00000
0,0001	10,0002	10,00000
PONTO 100 g		
Z (g)	m (g)	M (g)
0,0000	99,9998	100,00000
0,0001	99,9998	100,00000
PONTO 300 g		
Z (g)	m (g)	M (g)
0,0000	300,0000	300,00000
0,0002	300,0001	300,00000
PONTO 500 g		
Z (g)	m (g)	M (g)
0,0000	499,9998	500,00000
0,0002	499,9999	500,00000

5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA

Exercício 5.3 – Verificação de repetitividade da balança

Com base nos dados da balança do exercício 2.7, analise, a luz do documento orientativo DOQ CGCRE 36, se a balança está aprovada.

Como a balança tem faixa de pesagem de 0 a 520 g, usaremos para a verificação de repetitividade a massa padrão de 500 g.

	PONTO 500 g		
n	Z n (g)	m n (g)	M (g)
1	0,0000	500,0000	500,00000
2	0,0001	500,0000	500,00000
3	0,0001	500,0001	500,00000
4	0,0002	500,0001	500,00000
5	0,0002	500,0002	500,00000
6	0,0002	500,0000	500,00000
7	0,0002	500,0000	500,00000
8	0,0001	500,0001	500,00000
9	0,0000	500,0001	500,00000
10	0,0000	500,0000	500,00000

6. AJUSTE DE UMA FUNÇÃO - CURVA DE CALIBRAÇÃO

Incerteza no ajuste de pontos experimentais.

Exemplo para função do 1º. grau.

Como é necessário ajustar uma função aos pontos experimentais para determinar o coeficiente de sensibilidade, surge a necessidade de se calcular a incerteza deste ajuste.

Resumidamente, segue abaixo uma orientação para ajustar pontos experimentais a uma linha reta.

I. Faça o gráfico dos dados.

II. Determine o valor da incerteza do ajuste (u_{ajuste}) usando a equação:

$$u^2_{\text{ajuste}} = \frac{\sum [f(x_i) - f(x)]^2}{n - p}$$

6. AJUSTE DE UMA FUNÇÃO - CURVA DE CALIBRAÇÃO

Incerteza no ajuste de pontos experimentais.

Exemplo para função do 1º. grau.

$$u^2_{ajuste} = \frac{\sum [f(x_i) - f(x)]^2}{n - p}$$

Onde:

n = número de pontos no gráfico.

p = número de parâmetros na equação de ajuste. No caso de uma equação do tipo $y = a x + b$, temos $p = 2$ (a e b).

$f(x_i)$ = são os valores encontrados na equação ajustada devido a substituição dos valores experimentais x_i .

$f(x)$ = são os valores experimentais do eixo y .

6. AJUSTE DE UMA FUNÇÃO - CURVA DE CALIBRAÇÃO

Incerteza no ajuste de pontos experimentais.

Exemplo para função do 1º. Grau

A incerteza total da variável desejada (y) será a combinação das seguintes incertezas:

- incerteza do objeto calibrado (maior incerteza do certificado): u_{obj}
- incerteza do ajuste: u_{aj}

$$u_y = \sqrt{u_{obj}^2 + u_{aj}^2}$$

6. AJUSTE DE UMA FUNÇÃO - EXERCÍCIOS

Exercício 6.1 – Calibração de Balança Analítica

Determine, na balança do exercício 4.1:

- a) Se a mesma se encontra dentro do seu EMP
- b) Construa sua curva de calibração
- c) Determine seu erro de linearidade
- d) Determine sua incerteza do ajuste
- e) Calcule a incerteza da balança, considerando a incerteza do ajuste

6. AJUSTE DE UMA FUNÇÃO - CURVA DE CALIBRAÇÃO

Exercício 6.2 - Incerteza no ajuste de pontos experimentais.

Com base nos dados do certificado de calibração do termômetro digital abaixo, determine:

- a) a sua curva de calibração;
- b) seu erro de linearidade;
- c) sua incerteza do ajuste linear.

5- Resultados da Calibração

Profundidade de Imersão (mm)	Valor Verdadeiro Convencional (°C)	Média das Medições do Objeto (°C)	Tendência do Objeto (°C)	Incerteza de Medição ± (°C)
150	0,01	-0,1	-0,11	0,11
150	40,02	39,6	-0,42	0,14
150	100,01	100,5	0,49	0,14
150	350,03	350,2	0,17	0,20

Os resultados acima apresentados referem-se a uma média de 4 medições subsequentes.

Fator k de abrangência (95,45%) = 2,00

7. DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM MEDIÇÕES INDIRETAS

Quando estamos diante de uma medição indireta, devemos calcular a sua incerteza através da equação abaixo:

$$uc^2(Y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 u^2(X_i)$$

Onde, a derivada parcial $\frac{\partial f}{\partial X_i}$ é denominada COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE da grandeza X_i . O coeficiente de sensibilidade $\frac{\partial f}{\partial X_i}$, descreve como a estimativa da grandeza de saída Y varia com alterações nos valores das estimativas de entrada $X_1; X_2; \dots X_n$

7. DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM MEDIÇÕES INDIRETAS

Vejamos um exemplo de aplicação do cálculo de incerteza de medição numa medição indireta.

Exercício Resolvido: Para a determinação da massa específica de um solução, foi usado um picnômetro de volume $V = (24,89 \text{ mL} \text{ e } U = 0,01 \text{ mL para } k = 2,0 \text{ e } 95,45\% \text{ de confiabilidade metrológica})$. Enche-se o picnômetro com a solução e determina sua massa através de uma balança analítica ($m = 25,0246 \text{ g}$ e $U = 0,0002 \text{ g para } k = 2,0 \text{ e } 95,45\% \text{ de confiabilidade metrológica}$). Considerando que a massa específica é dada pela equação:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Determine a massa específica da solução pelo método da derivada e pelo método da incerteza relativa.

7. DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM MEDIÇÕES INDIRETAS

1. Método da derivada

$$V = (24,89 \pm 0,01) \text{ mL}; \quad m = (25,0246 \pm 0,0002) \text{ g}$$

Considerando a equação que relaciona as variáveis como:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Temos:

a) Coeficiente de sensibilidade da massa

$$\frac{\partial \rho}{\partial m} = \frac{1 \cdot V - m \cdot 0}{V^2} = \frac{V}{V^2} = \frac{1}{V}$$

b) Coeficiente de sensibilidade do volume:

$$\frac{\partial \rho}{\partial V} = \frac{0 \cdot V - m \cdot 1}{V^2} = \frac{-m}{V^2}$$

7. DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM MEDIÇÕES INDIRETAS

1. Método da derivada

$$V = (24,89 \pm 0,01) \text{ mL}; \quad m = (25,0246 \pm 0,0002) \text{ g}$$

Substituindo os valores, temos:

a) Coeficiente de sensibilidade da massa $\frac{\partial \rho}{\partial m} = \frac{1}{V} = \frac{1}{24,89} = 0,0401767778/\text{mL}$

b) Coeficiente de sensibilidade do volume:

$$\frac{\partial \rho}{\partial V} = \frac{-m}{V^2} = \frac{-25,0246}{24,89^2} = -0,040394045 \text{ g/mL}^2$$

Observe que, tanto a medição da massa quanto a medição do volume influenciam igualmente a incerteza de medição da massa específica da solução. Essa é uma característica fundamental no coeficiente de sensibilidade (CS). Quanto maior o CS, maior é a influência daquela variável na medição indireta.

7. DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM MEDIÇÕES INDIRETAS

1. Método da derivada

$V = (24,89 \pm 0,01) \text{ mL}$; $m = (25,0246 \pm 0,0002) \text{ g}$

A incerteza de medição da massa específica da solução será dada pela expressão:

$$U_{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial m} U_m\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial V} U_V\right)^2}$$

$$U_{\rho} = \sqrt{(0,0401767778 \times 0,0002)^2 + (0,040394045 \times 0,01)^2}$$

$$U_{\rho} = 0,0004040203635 \text{ g/mL}$$

$$U_{\rho} = 0,0004 \text{ g/mL}$$

Lembre-se, não devemos declarar incertezas com mais de dois algarismos significativos. Além disso, devemos arredondar a medição para o correto número de algarismos significativos.

7. DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM MEDIÇÕES INDIRETAS

REGRA DE ARREDONDAMENTO DE ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS (AS)

Para que o resultado das operações contenha apenas algarismos significativos, devemos agir da seguinte maneira nas operações matemáticas.

a) Adição e Subtração

Somamos ou subtraímos normalmente as parcelas e o resultado final da operação deve ter o mesmo número de casas decimais da parcela que possui o menor número de casas decimais.

b) Multiplicação e Divisão

Multiplicamos ou dividimos normalmente as parcelas e o resultado da operação deve ter o mesmo número de algarismos significativos da parcela que possui o menor número de algarismos significativos.

7. DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM MEDIÇÕES INDIRETAS

Agora, que sabemos aplicar as regras de algarismos significativos, podemos responder a pergunta:

Qual o valor da massa específica da solução?

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{24,89}{25,0246} = 0,994621292 \text{ g/mL}$$

Numa divisão ou multiplicação, determinamos o resultado da operação e arredondamos para o mesmo número de AS da parcela que possuir o menor número de AS. A parcela que apresenta o menor AS é a massa m , com 4 AS. Logo, a massa específica da solução terá 4 AS.

$$\rho = 0,9946 \text{ g/mL}$$

O resultado da medição será:

$$\rho = (0,9946 \pm 0,0004) \text{ g/mL}$$

7. DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM MEDIÇÕES INDIRETAS

2. Método da incerteza relativa

Caso não queiramos calcular a derivada parcial de uma função ou esse conhecimento ainda não foi estudado, podemos usar a tabela ao lado. Ela estabelece uma relação de propagação de incerteza utilizando as incertezas relativas, em algumas funções matemáticas.

TABELA DE INCERTEZAS RELATIVAS

Caso 1	$F = x + y + z$	$u_F = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}$
Caso 2	$F = x - y - z$	$u_F = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}$
Caso 3	$F = x \cdot y$	$u_F = F \cdot \sqrt{\left(\frac{u_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{u_y}{y}\right)^2}$
Caso 4	$F = \frac{x}{y}$	$u_F = F \cdot \sqrt{\left(\frac{u_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{u_y}{y}\right)^2}$
Caso 5	$F = x^m$	$u_F = F \left(m \frac{u_x}{x}\right)$
Caso 6	$F = x^p + y^q$	$u_F = F \sqrt{\left(p \frac{u_x}{x}\right)^2 + \left(q \frac{u_y}{y}\right)^2}$
Caso 7	$F = \log x$	$u_F = 0,43429 \cdot \left(\frac{u_x}{x}\right)$
Caso 8	$F = \ln x$	$u_F = \left(\frac{u_x}{x}\right)$
Caso 9	$F = e^x$	$u_F = F \cdot u_x$
Caso 10	$F = 10^x$	$u_F = F \cdot (2,3026 \cdot u_x)$

Obs.: u_F é a incerteza combinada da função F.

7. DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM MEDIÇÕES INDIRETAS

2. Aplicando o método da derivada

$V = (24,89 \pm 0,01) \text{ mL}$; $m = (25,0246 \pm 0,0002) \text{ g}$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Considerando a equação que relaciona as variáveis é:

Aplica-se o caso 4.

Caso 4	$F = \frac{x}{y}$	$u_F = F \cdot \sqrt{\left(\frac{u_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{u_y}{y}\right)^2}$
--------	-------------------	------------------------------------------------------------------------------------

$$u_\rho = \rho \sqrt{\left(\frac{u_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{u_V}{V}\right)^2}$$

$$u_\rho = 0,9946 \sqrt{\left(\frac{0,0002}{25,0246}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{24,89}\right)^2}$$

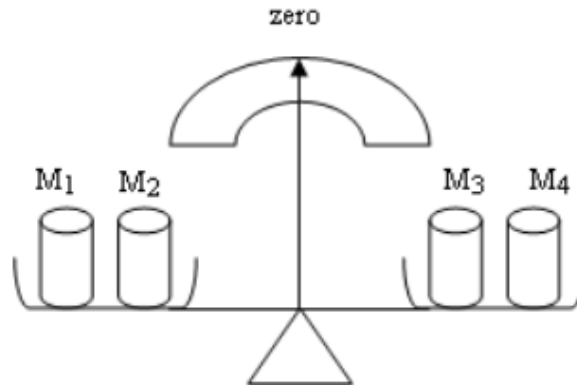
$$u_\rho = 0,994621292 \sqrt{\left(\frac{0,0002}{25,0246}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{24,89}\right)^2}$$

$$u_\rho = 0,0003996858428 = 0,0004 \text{ g/mL}$$

7. DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM MEDIÇÕES INDIRETAS

Exercício 7.1

Um químico realizou a medição da massa (M_4) de um produto utilizando a seguinte balança de pratos.



$$M_1 = (128,0 + 0,2) \text{ g} ; M_2 = (56,4 + 0,4) \text{ g} ; M_3 = (39,7 + 0,7) \text{ g}$$

Considerando a balança em equilíbrio e as incertezas declaradas para $k = 2,0$ todos com confiabilidade metrologia de 95,45%. Calcule o valor da massa M_4 e sua incerteza.