



*Coordenador da Subcomissão 04:
Jorge Vallim Guimarães*

Apoio:

*INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e
Qualidade Industrial*

CGCRE – Coordenação Geral de Credenciamento

*DICLA – Divisão de Credenciamento de Laboratórios e Provedores de
Ensaio de Proficiência*

DIMCI – Diretoria de Metrologia Científica e Industrial

DIELE – Divisão de Eletricidade

DIMEL – Diretoria de Metrologia Legal

*DIVEL - Div. de Instrumentos de Medição de Eletricidade e Ensaio de
Perturbação*

Incerteza de Medição em Ensaio de Compatibilidade Eletromagnética

(Critérios Adicionais para o Credenciamento de Laboratórios de Ensaio)

(Área de Compatibilidade Eletromagnética)



Sumário

- 01 Objetivo
- 02 Campo de aplicação
- 03 Responsabilidades
- 04 Documento complementar
- 05 Documento de referência
- 06 Siglas
- 07 Definições
- 08 Considerações gerais
- 09 Conceito de incerteza
- 10 Etapas no estabelecimento de uma planilha de incertezas
- 11 Conformidade com a especificação
- 12 Anexo A - Sumário das equações utilizadas
- 13 Anexo B - Exemplos de planilhas de incertezas
 - 1 Emissões irradiadas
 - 2 Emissões conduzidas
 - 3 Imunidade irradiada
- 14 Anexo C - Cálculo de K_p
- 15 Anexo D - Cálculo de incertezas em quantidades logarítmicas ou lineares

01 OBJETIVO

Esta norma fixa critérios adicionais que os laboratórios de ensaios atuantes em ensaios de compatibilidade eletromagnética devem cumprir.

02 CAMPO DE APLICAÇÃO

Esta norma se aplica a todos os processos de credenciamento de laboratórios de ensaios atuantes em ensaios de compatibilidade eletromagnética.

03 RESPONSABILIDADES

É responsabilidade da CTEM a contínua revisão da presente norma.

04 DOCUMENTO COMPLEMENTAR

Para aplicação desta norma necessita-se consultar as seguintes normas:

- NNNN - Regulamento para Credenciamento de Laboratórios de Calibração e Ensaios.
- NNNN - Critérios Gerais para Credenciamento de Laboratórios de Calibração e Ensaios.

05 DOCUMENTO DE REFERÊNCIA

Esta norma foi desenvolvida tomando-se como referência documento do UKAS M18 -

06 SIGLAS

São apresentadas abaixo as siglas utilizadas neste documento:

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
DICLA Divisão de Credenciamento de Laboratórios e Provedores de Ensaio de Proficiência

Incluir outras diretorias e divisões, quando pertinente

07 DEFINIÇÕES

São apresentadas abaixo as definições utilizadas neste documento:

1 Introdução

- 1.1 Os requisitos gerais para a estimativa e relatório de incertezas são dadas nos Critérios gerais para credenciamento de laboratórios de calibração e de ensaios. As orientações gerais sobre a estimativa e relatório de incertezas em ensaios são dadas na publicação Cálculo de Incertezas em Ensaios do INMETRO. Esta publicação oferece orientações específicas para a aplicação do conjunto de princípios definidos na Cálculo de Incertezas em Ensaios para avaliação de laboratórios ou ainda, na obtenção do credenciamento INMETRO para ensaios em Compatibilidade Eletromagnética.
- 1.2 É recomendável que os laboratórios sigam os métodos para estimativa de incertezas descritos na Cálculo de Incertezas em Ensaios e nesta publicação, exceto onde o método esteja definido na especificação do ensaio.
- 1.3 Deverá ser observado que as pequenas diferenças em estimativas de incertezas obtidas usando-se os métodos dados em outros documentos similares, [3], [4], [5] e [6], não serão consideradas significativas.
- 1.4 Esta publicação não pretende definir quais são as contribuições para as incertezas, ou quais deveriam ser, desde que estas sejam dependentes do equipamento utilizado e do método de ensaio. No entanto, exemplos de perspectivas de incertezas são dados no Apêndice II para algumas medidas de Compatibilidade Eletromagnética e os mesmos foram tornados os mais reais possíveis.

2 Conceito de incerteza

- 2.1 Ao realizarmos uma medida, o seu resultado verdadeiro será diferente do valor teoricamente correto. Esta diferença é o resultado de um erro no valor medido, devendo indicar um novo processo para medição de forma a minimizar este erro. Na prática, a extensão com a qual este é obtido pode ser limitada e uma condição de incerteza é utilizada para refletir a qualidade / precisão do resultado medido, quando comparado com o valor verdadeiro. Uma condição de incerteza está incompleta sem uma condição de acompanhamento do crédito que pode ser colocado no valor da incerteza.
- 2.2 Incertezas surgem a partir de efeitos aleatórios e correções imperfeitas de efeitos sistemáticos. As recomendações do Comitê Internacional para Pesos e Medidas (CIPM) [1], as quais serão seguidas pelo INMETRO, são que componentes de incertezas são agrupados em duas categorias, baseados no seu método de avaliação. Estas categorias são denominadas como Tipo A e Tipo B.
- 2.3 A avaliação do Tipo A é tomada a partir do cálculo de uma série de observações repetidas e consequentemente incluem efeitos aleatórios. O desvio - padrão estimado estatisticamente é chamado por conveniência, em algumas ocasiões, de padrão de incerteza Tipo A. A avaliação do Tipo B utiliza meios distintos do Tipo A. Por exemplo, por julgamento baseado nos dados em certificados de calibração, dados medidos previamente, experiência com o comportamento dos instrumentos, especificações do fabricante e outras informações relevantes. Esta categoria inclui as incertezas presentes em efeitos sistemáticos. Os componentes avaliados pelos métodos Tipo A e Tipo B são combinados em conjunto, de forma a produzir um valor completo de incertezas.
- 2.4 Este documento, assim como outros documentos de normas sobre incertezas, recomenda que a incerteza relatada seja calculada pela raiz quadrada da soma dos quadrados dos desvios padrão dos componentes individuais, multiplicados por um fator de eficiência, k , de 2, o qual aproxima a um nível de confiança (NC) de 95%. Se for necessário um nível superior de confiança, então poderá ser utilizado $k = 3$, o que tornará NC igual a 99,7%.

3 Etapas no estabelecimento de uma planilha de incertezas

3.1 *Decisão sobre a faixa de medida sobre a qual será aplicada a planilha.*

Uma planilha de incertezas é uma lista de fontes prováveis de erro, com uma estimativa de seus limites de incerteza e probabilidade de distribuição. É como se algumas contribuições de incertezas não fossem as mesmas para a faixa completa de medidas, e uma decisão tivesse que ser tomada sobre o ponto de corte mais apropriado. Uma planilha simples cobrindo a faixa completa pode significar que está assinalada uma incerteza superior ao que seria estritamente necessário. No entanto, isto pode ser preferível em alguns casos onde não seja necessário tornar mais complexos os cálculos e processos de relatório. Deve ser dada prioridade ao cálculo de incertezas na região do limite de especificação do ensaio, ou limites.

3.2 *Avaliação Tipo A dos componentes de incertezas.*

3.2.1 Os efeitos aleatórios resultam em erros que variam em uma forma não-previsível, enquanto a medida estiver sendo realizada ou sendo repetida sob as mesmas condições. A incerteza associada com estas contribuições pode ser avaliada por técnicas estatísticas em medidas repetidas. Uma estimativa do desvio padrão, $s(q_k)$, de uma série de n leituras, q_k , é obtida por:

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2} \quad (1)$$

onde \bar{q} é o valor significativo de n medidas.

3.2.2 O componente aleatório de incerteza pode ser reduzido fazendo-se repetidas medidas no processo de ensaio do equipamento sob teste (EST). Isto garante o desvio padrão de significado, $s(\bar{q})$, dado por:

$$s(\bar{q}) = \frac{s(q_k)}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

3.2.3 Considerações práticas normalmente indicam que o número de leituras repetidas será muito menor ou freqüentemente limitado a uma única leitura. É razoável utilizar um valor pré-determinado de $s(q_k)$ para a medida do sistema, baseado em um grande número de repetições, fornecido pelo sistema, método, configuração, condições, etc. são realmente representativo para o ensaio. Este procedimento é válido para o ensaio mas, no entanto, uma pré-determinação não incluirá as contribuições de um EST específico. O valor de n a ser usado para obter $s(\bar{q})$ sob estas circunstâncias é o número de medidas feitas no processo de ensaio e não o número de medidas feitas na pré-determinação. Medidas repetidas deverão ser realizadas até que o resultado encontrado esteja próximo ao limite especificado.

3.2.4 Um valor para as contribuições aleatórias do sistema de medida é, em qualquer caso, uma parte essencial da taxa de incerteza e a avaliação tipo A deve ser realizada nos seus processos e configurações "típicas", envolvidas no ensaio. Por exemplo, no caso de medidas em campo aberto, a avaliação tipo A pode incluir a recolocação da antena e receptor, assim como o ajuste de altura da antena para maximizar a leitura do receptor.

3.2.5 A incerteza padrão, $u(x_i)$, de um x_i estimado, de uma quantidade q na entrada baseado na avaliação tipo A é, conseqüentemente:

$$u(x_i) = s(\bar{q}) \quad (3)$$

3.3 Avaliação Tipo B: lista todas as outras contribuições significativas para incertezas, com uma estimativa dos seus valores limites.

3.3.1 As contribuições para incertezas apresentadas em efeitos sistemáticos são aquelas que permanecem constantes enquanto as medidas estão sendo realizadas, mas podem mudar a medida que as condições de medida, método ou equipamento sejam alteradas. Se houver qualquer dúvida quanto a importância desta contribuição, a mesma deve ser incluída na perspectiva de incertezas de forma a demonstrar que foi considerada.

3.3.2 Normalmente, todas as correções que possam refletir no resultado medido devem ser aplicadas. No entanto, em alguns casos pode ser impraticável ou desnecessário corrigir todos os erros conhecidos. Por exemplo, o certificado de calibração para um receptor eletromagnético pode dar os resultados reais de entrada, medidos em leituras específicas, com uma incerteza associada. É possível corrigir as leituras subsequentes utilizando esta calibração para obter a menor incerteza possível. No entanto, é mais prático usar valores indicados sem correções aplicadas, nos quais seja utilizada a incerteza especificada pelo fabricante, fornecida e confirmada por uma calibração certificada ou, onde isto não seja possível, em uma rotina aceita pelo INMETRO.

3.3.3 As contribuições individuais das incertezas devem ser consideradas em termos de variação na quantidade sendo medida, mais do que na quantidade de influencia, sendo todas nas mesmas unidades. A maioria das medidas eletromagnéticas são derivadas de leituras utilizando escalas logarítmicas (ex. dB μ V), as correções para o ganho ou perda dos componentes do sistema estão em dB, os limites de especificação são geralmente dados em dB e os limites de especificação dos instrumentos são normalmente dados em dB. Neste casos é recomendável que o cálculo das incertezas seja feito em termos de dB. Em alguns eventos, por exemplo, quando a adição de sinais for a contribuição dominante, poderá ser correto calcular a incerteza em termos de valores absolutos, ex. V / m. O uso do dB, percentuais ou valores absolutos será discutido no Apêndice IV.

3.3.4 Está razoavelmente correto determinar um valor para a contribuição da incerteza quando já existir evidência na qual basear este valor, tal como um certificado de calibração ou especificação do fabricante. Em outros casos poderá não haver dados disponíveis e uma estimativa deverá ser feita baseada na experiência ou em outros materiais publicados relevantes. Em tais casos é geralmente mais seguro superestimar a grandeza de uma contribuição até que evidências mais substanciais estejam disponíveis.

3.3.5 A maioria das contribuições para incertezas pode ser adequadamente representada por uma distribuição simétrica sobre o resultado nominal ou medido, por exemplo a incerteza atribuída a um receptor. No entanto, algumas contribuições não são simétricas, sendo mais simplesmente distribuídas através do cálculo de seus valores positivos e negativos para a incerteza total. A decisão sobre a aplicação desta forma dependerá da diferença entre os dois valores e a necessidade de rigor na estimativa da incerteza. Um exemplo de uma incerteza assimétrica é a adição de dois sinais em mesma frequência onde a resultante é dependente de suas fases relativas, como ocorre com múltiplas reflexões em um ambiente envidraçado e incerteza desigual.

3.3.6 A base da aproximação RSS reside nas contribuições não-correlacionadas. Uma seleção racional do equipamento de ensaio e método de medida pode garantir que seja evitada, ou minimizada, a correlação adversa entre contribuições individuais. Se a correlação adversa entre quaisquer contribuições for conhecida ou suspeitada então a aproximação mais correta será a soma aritmética das incertezas padrão destas contribuições. Em algumas situações é necessário utilizar os mesmos itens do equipamento de ensaio para diferentes etapas do processo de medida. Por exemplo, na pré-calibração para medidas de imunidade irradiada é essencial que a mesma antena transmissora seja usada para a calibração e o ensaio.

3.4 ***Designar uma distribuição provável e determinar a incerteza padrão de cada contribuição.***

A distribuição provável de uma incerteza descreve a variação na probabilidade do seu valor verdadeiro estar situado em qualquer diferença particular do resultado medido ou designado. A distribuição provável não será, necessariamente, uma forma geométrica regular e uma suposição deverá ser feita, baseada em teoria ou conhecimento prévio, que a aproxime de uma das formas comuns. Torna-se possível então calcular a incerteza padrão, $u(x_i)$, para a forma designada por equações simples. As três principais distribuições de interesse para medidas de compatibilidade eletromagnética são normal, retangular e formato U.

3.4.1 Normal:

Esta distribuição pode ser designada para incertezas derivadas de contribuições múltiplas. Por exemplo, quando um laboratório de calibração do INMETRO garante uma incerteza total para um instrumento, este terá sido calculado em um nível mínimo de confiança de 95% e pode ser assumido como estando normal. A incerteza padrão de uma contribuição para incertezas com distribuição normal assumida é calculada dividindo-se a incerteza pelo fator de eficiência, k , adequado ao nível solicitado de confiança.

Para Distribuições Normais:
$$u(x_i) = \frac{\text{incerteza}}{k} \quad (4)$$

onde $k = 2$ se o nível reportado de confiança seja 95%. (Estritamente falando para um nível de confiança de 95%, $k = 1,96$, no entanto, a diferença deste faz com que a incerteza combinada seja insignificante)

3.4.2 Retangular:

Esta distribuição significa que existe igual probabilidade de que o valor verdadeiro esteja em qualquer lugar entre os limites prescritos. Uma distribuição retangular deverá ser designada onde os limites especificados pelo fabricante sejam usados como incerteza, a menos que exista uma condição ou confiança associada com a especificação, caso no qual a distribuição normal poderá ser assumida.

Para Distribuições Retangulares:
$$u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

onde a_i é o valor limite da semi-faixa da contribuição individual de incerteza.

3.4.3 Formato U:

Esta distribuição é aplicável para incertezas defasadas [7]. O valor do limite para incerteza defasada, M , associado com a transferência de energia em uma junção é obtido por

$20\log_{10}(1 \pm |\Gamma_G||\Gamma_L|)dB$, ou $100((1 \pm |\Gamma_G||\Gamma_L|)^2 - 1)%$ onde Γ_G e Γ_L são os coeficientes de reflexão para a fonte e a carga. Como apresentado no parágrafo 3.3.5, a incerteza defasada é assimétrica sobre o resultado medido, no entanto, a diferença desta faz com que a incerteza total seja freqüentemente insignificante, tornando-a aceitável para o uso com o maior de dois limites, ex:

$$20\log_{10}(1 - |\Gamma_G||\Gamma_L|)$$

Para Distribuições Formato U:
$$u(x) = \frac{M}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

3.5 Determinar uma incerteza padrão combinada.

A incerteza combinada, $u_c(y)$, é obtida tomando-se a raiz quadrada da soma dos quadrados das incertezas padrão individuais. Se qualquer das incertezas padrão não estiver dentro das quantidades medidas, as mesmas deverão ser convertidas utilizando-se as relações funcionais apropriadas, c_i , por exemplo, a incerteza na distância medida em um lugar aberto deve ser convertida para a incerteza na energia do sinal recebido, então:

$$u_i(y) = c_i \cdot u(x_i) \quad (7)$$

Quaisquer contribuições com correlações adversas conhecidas ou suspeitas deverão ser adicionadas conjuntamente, então para estas contribuições m :

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)} \quad (8)$$

3.6 Determinar uma incerteza expandida.

A incerteza expandida, U , define um intervalo sobre o resultado medido que circunda o valor verdadeiro com um nível especificado de confiança, $p\%$. A incerteza expandida é obtida pela multiplicação da incerteza padrão combinada por um fator de eficiência, k , assim:

$$U = K u_c(y) \quad (9)$$

O nível de confiança recomendado pelo INMETRO para ensaios de compatibilidade eletromagnética é de 95%, o qual pode ser obtido com $k = 2$. No entanto, se um erro aleatório no processo de medida tiver uma proporção significativa no total e $s(q_k)$ tenha sido determinado a partir de um número relativamente pequeno de repetições da medida, consequentemente o valor de k deverá ser aumentado de forma a manter o nível de confiança. Este valor revisado de k é k_p e pode ser obtido utilizando-se o procedimento dado no Apêndice III. A necessidade de se utilizar k_p em lugar de k pode ser determinada pela aplicação do seguinte critério:

se $u_c(y) / s(\bar{q}) < 3$ então um valor para Kp deverá ser obtido utilizando-se o procedimento dado no Apêndice III.



3.7 *Relato do resultado.*

O resultado da medida, após todas as correções apropriadas terem sido feitas, é y e pode ser tipicamente apresentado como a seguir:

O resultado medido é: $y \text{ dB}\mu\text{V} \pm U \text{ dB}$

para um nível de confiança de aproximadamente 95%, ($k = 2$).

Alternativamente uma incerteza completa pode ser dada por resultados que estejam plotados ou tabulados.

4 Conformidade com a especificação

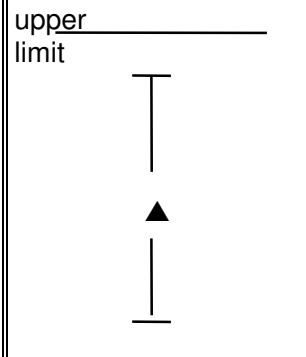
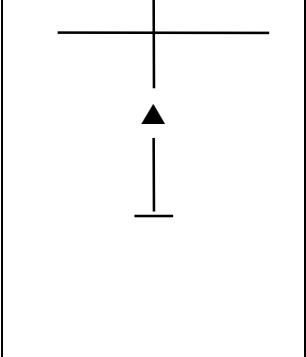
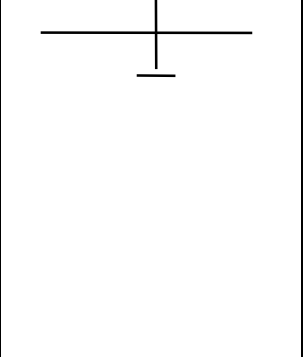

4.1 Os requisitos do INMETRO afirmam que, quando um produto é ensaiado contra uma especificação declarada, o seu relatório deverá conter uma declaração indicando se os resultados demonstram conformidade ou não-conformidade com a especificação. Esta decisão pode ser tomada pelo laboratório de ensaios se o valor do resultado do ensaio for superior ou inferior aos limites da especificação, em uma margem superior à incerteza estimada. Um problema aumenta quando a margem entre o resultado medido e o limite especificado é inferior à incerteza de medição. Nestes casos o laboratório poderá não ter certeza se foi demonstrada conformidade ou não-conformidade.

4.2 Para alguns produtos e circunstâncias poderá ser apropriado ao usuário fazer um julgamento da conformidade baseado em o resultado medido estar dentro dos limites especificados, sem considerações quanto à incerteza. Isto é algumas vezes denominado como “risco avaliado” desde que o usuário final considere que parte do risco do produto não atende às especificações. As implicações de tal risco podem variar consideravelmente. Poderá ser aceitável ignorar a incerteza de medição para performance crítica não-segura, tal como as características de imunidade eletromagnética de rádio e televisão por exemplo, mas quando ensaiando um marca-passo cardíaco ou o sistema ABS de um veículo, o usuário poderá requerer que o risco do produto não consentido seja negligenciável. Nestes casos a incerteza deve ser levada em consideração.

4.3 O ensaio de compatibilidade eletromagnética é executado em uma gama muito extensa de produtos, propostos à uma diversidade de aplicações. Consequentemente não é possível, ou apropriado, para o INMETRO recomendar regras padronizadas para o julgamento da conformidade. Se a especificação de um ensaio coloca por terra o critério, ela deve ser seguida, mas esta é uma ocorrência rara. Se houver uma condição reconhecida, entre os organismos regulador / certificador e os fabricantes por exemplo, ela deve ser seguida mas novamente isto não é comum. Se nem a especificação do ensaio nem os organismos reguladores definiram regras para conformidade, então deverá ser seguido o guia apresentado nesta publicação.

4.4 Se um contrato, código de prática ou especificação estipula que a incerteza pode ser ignorada no julgamento da conformidade, então todas as partes deverão conhecer qual seja a incerteza. A responsabilidade para o cálculo e declaração da incerteza permanecem com o laboratório de ensaio.

4.5 Na ausência de qualquer critério de especificação, guia ou código de prática, os laboratórios de ensaios de compatibilidade eletromagnética credenciados pelo INMETRO deverão avisar o cliente onde a incerteza envolvida na medida torna difícil um julgamento de conformidade. Exemplos de condições apropriadas são dados abaixo:

Caso A	Caso B	Caso C	Caso D
 <p>O produto atende.</p>	 <p>O resultado medido está abaixo do limite da especificação por uma margem inferior à incerteza da medição; conseqüentemente torna-se impossível determinar conformidade em um nível de confiança de 95%. No entanto o resultado medido indica uma maior probabilidade de que o produto ensaiado atenda aos limites especificados.</p>	 <p>O resultado medido está acima do limite da especificação por uma margem inferior à incerteza da medição; conseqüentemente torna-se impossível determinar conformidade em um nível de confiança de 95%. No entanto, o resultado medido indica uma maior probabilidade de que o produto ensaiado atenda aos limites Especificados.</p>	 <p>O produto não atende.</p>

5 Referências



- [1] *Guia para a Expressão de Incertezas em Medição*, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, Organização Internacional para Padronização, Genebra, Suíça, ISBN 92-67-10188-9, Primeira Edição, 1993
- [2] *Expressão de Incerteza em Ensaios*, NIS80, NAMAS (a ser publicada)
- [3] *Expressão de Incerteza e Confidência em Medidas*, Publicação NAMAS NIS3003, Edição 7 de Maio de 1991.
- [4] *Diretrizes para a expressão de incerteza de medidas em calibração*. WECC Doc. 19-1990.
- [5] *Guia para avaliação e expressão de incertezas associada aos resultados de medidas elétricas*, Def Stan 0026 / Boletim 2 Setembro 1988.
- [6] *Incertezas na medição de características dos equipamentos móveis de rádio*, ETSI Relatório Técnico, ETR028, Março 1992.
- [7] Harris, I.A and Warner, F.L. *Reexame das incertezas defasadas em medidas de potência e atenuação*. IEE Proc. Vol 128 Pt H N^o.1 Fevereiro 1981.

APÊNDICE I

Sumário de equações utilizadas

1. desvio padrão estimado em uma amostra de n leituras:

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}$$

2. desvio padrão do significado de n leituras:

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

3. incerteza padrão resultante da avaliação tipo A:

$$u(x) = s(\bar{q})$$

4. incerteza padrão para contribuições com distribuição normal de probabilidades:

$$u(x_i) = \frac{\text{incerteza}}{k}$$

5. incerteza padrão para contribuições com distribuição retangular de probabilidades:

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

6. incerteza padrão para contribuições com distribuição de probabilidades em forma U:

$$u(x_i) = \frac{M}{\sqrt{2}}$$

7. incertezas padrão em termos de quantidades medidas:

$$u_i = c_i \cdot u(x_i)$$

8. incerteza padrão combinada:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)}$$

9. incerteza expandida:

$$U = k u(y) \text{ ou } U = k_p u_c(y)$$

APÊNDICE II

Exemplos de planilhas típicas de incertezas

Os exemplos a seguir apresentam as mais prováveis contribuições de incertezas para as medidas eletromagnéticas mais comuns. **As contribuições e valores não pretendem designar condições obrigatórias. Os laboratórios podem determinar as contribuições para incertezas dos ensaios que estejam sendo realizados.** Onde a contribuição de incerteza for considerada insignificante é utilizado um “0”.

Exemplo 1

Medição da intensidade do campo polarizado verticalmente entre 30 dB μ V / m e 60 dB μ V / m na faixa de frequências de 30 MHz a 1 GHz, com ensaio em área aberta de 3 m e 10 m.

Contribuição	Distribuição das Probabilidades	Incerteza (dB)			
		Antena Bicônica		Antena Log Periódica	
		3m	10m	3m	10m
Sinais Ambiente		-	-	-	-
Calibração do fator de antena	normal ($k = 2$)	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Calibração da perda dos cabos	normal ($k = 2$)	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
Especificação do receptor	retangular	$\pm 1,5$	$\pm 1,5$	$\pm 1,5$	$\pm 1,5$
Diretividade da antena	retangular	+ 0,5 -0	0	+ 3,0 -0	+ 0,5 -0
Fator de variação da antena com a altura	retangular	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
Varição da fase central da antena	retangular	0	0	$\pm 1,0$	$\pm 0,2$
Fator de interpolação da frequência da antena	retangular	$\pm 0,25$	$\pm 0,25$	$\pm 0,25$	$\pm 0,25$
Varição da distância nas medições	retangular	$\pm 0,6$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$	$\pm 0,4$
Imperfeições do terreno	retangular	$\pm 2,0$	$\pm 2,05$	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$
Defasagem Receptor VRC: $\Gamma_l = 0.2$ Antena VRC: $\Gamma_g = 0.67(B_i)0.3(Lp)$ Limites de incerteza $20Log(1 \pm \Gamma_l \Gamma_g)$	formato-U	+1,1 -1,25	+1,1 -1,25	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
Sistema de repetibilidade (taxa de previsão de $s(q_k)$ para 5 repetições, 1 leitura no ESE)	desvio padrão	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
Repetibilidade do ESE *		-	-	-	-
Incerteza padrão combinada $u_c(y)$	normal	+2,19 -2,21	+2,16 -2,20	+2,52 -1,82	+1,74 -1,72
Incerteza expandida U	normal ($K=2$)	+4,38 -4,42	+4,32 -4,40	+5,04 -3,64	+3,48 -3,44

Cálculo de uma antena bicônica de 3m, valor positivo:

$$u_c(y) = \sqrt{\left(\frac{1.0}{2}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{2}\right)^2 + \frac{1.5^2 + 0.5^2 + 2.0^2 + 0.25^2 + 0.6^2 + 2.0^2}{3} + \frac{1.1^2}{2} + 0.5^2}$$

Neste exemplo é provável que $u_c(y) / s(q_k) > 3$, a menos que a repetibilidade do ESE (equipamento sob ensaio) seja particularmente pobre e um fator de eficiência de $k = 2$ garanta que o nível de confiança seja aproximadamente 95%, conseqüentemente:

$$U = 2u(y) = 2 \times \pm 2.19 = \pm 4.38dB$$

Notas pertinentes ao exemplo 1:

- 1.1 Sinais ambiente não são considerados nesta perspectiva desde que a incerteza esteja dependente dos níveis relativos dos sinais, não afetando igualmente a todas as freqüências. O efeito em um resultado medido devido aos sinais ambiente deverá ser determinado no momento em que a medida é realizada e, se necessário, a incerteza deverá ser ampliada.
- 1.2 A antena e o cabo deverão requerer calibrações rastreadas para as quais uma incerteza deverá ser estimada utilizando as recomendações do INMETRO (1), baseadas em uma distribuição em probabilidade normal com $k = 2$.
- 1.3 A incerteza do receptor será provavelmente obtida a partir da especificação do fabricante, para a qual teria que ser assumida uma distribuição retangular.
- 1.4 A incerteza do fator de antena não considera a diretividade da antena. A menos que seja feita uma análise detalhada de todas as variáveis e seus efeitos no sinal recebido, deverá ser feita uma estimativa dos valores limite e assumida uma distribuição retangular. O ângulo de incidência relativo ao plano de captura da antena será geralmente maior, para uma faixa de 3m. Desde que a calibração da antena respeite este plano, é razoável assumir que a energia real do sinal não será inferior a leitura indicada, mas poderá ser superior em uma quantidade desconhecida, resultando em uma incerteza assimétrica.
- 1.5 O fator de antena pode variar com a altura e desde que esta não seja sempre a mesma em uso quando a antena foi calibrada, é requisitada uma incerteza adicional. Um certificado de calibração do NPL apresentará normalmente um guia no valor para esta contribuição.
- 1.6 A fase central para antenas log periódicas variará com a freqüência e isto não é considerado para calibração.
- 1.7 A incerteza na medição de distância será relativamente menor mas terá algum efeito na energia do sinal recebido. O aumento na distância medida, assim como o aumento na altura da antena, é uma conseqüência inevitável do método requerido pela maioria dos padrões especificadores de emissão irradiada e, conseqüentemente, não são considerados como uma contribuição para a incerteza.
- 1.8 As imperfeições do terreno são difíceis de quantificar mas podem incluir as seguintes contribuições:
 - reflexões indesejáveis de objetos adjacentes.
 - imperfeições no plano terra: coeficiente de reflexão, não-linearidade e efeitos de rampa.
 - perdas ou reflexões em gabinetes "transparentes" no ESE ou coberturas do terreno.
 - correntes de terra nos cabos de antena (principalmente em efeitos de antenas bicônicas).



Os limites especificados para a diferença entre a atenuação medida no terreno e o valor teórico, (± 4 dB), não precisam ser incluídos no total, desde que a medida de atenuação do terreno inclua contribuições de incerteza, já consideradas nesta perspectiva, tais como o fator de antena.

1.9 A contribuição da repetibilidade do ESE necessita ser confirmada neste momento. Seria razoável basear isto com medidas repetidas em uma ou duas frequências. Não existe necessidade de se fazer uma contribuição apurada da repetibilidade do ESE se os resultados estiverem claramente dentro dos limites especificados.

Exemplo 2

Medida de emissões conduzidas entre 30 dB μ V e 60 dB μ V na faixa de frequências de 9 kHz a 30 MHz.

Contribuição	Distribuição Provável	Incerteza (\pm dB)	
		9 kHz - 150 Mhz	150 - 30 MHz
Especificação do receptor	retangular	1.5	1.5
Especificação do acoplamento LISN	retangular	1.5	1.5
Calibração do cabo e atenuador de entrada	normal (K=2)	0.3	0.5
Defasagem Receptor VRC: $\Gamma_l = 0.03$ LISN VRC: $\Gamma_g = 0.8(9kHz)0.2(30MHz)$ Limites de incerteza $20\text{Log}(1 \pm \Gamma \Gamma)$	formato-U	0.2	0.05
Sistema de repetibilidade (taxa de previsão de $s(q)$ para 10 repetições, 1 leitura no ESE)	desvio padrão	0.2	0.35
Repetibilidade do ESE *	-	-	-
Incerteza padrão combinada $u(y)$	normal	1.26	1.30
Incerteza expandida U	normal (K=2)	2.5	2.6

Cálculo para a faixa de 9 kHz a 150 kHz:

$$u_c(y) = \pm \sqrt{\frac{1.5^2 + 1.5^2}{3} + \left(\frac{0.3}{2}\right)^2 + \frac{0.2^2}{2} + 0.2^2} = \pm 1.26 \text{ dB}$$

Como no exemplo 1, é provável que $u_c(y) / s(q_k) > 3$ e $k = 2$ satisfaça, conseqüentemente:

$$U = 2 \times u_c(y) = 2 \times \pm 1.26 = \pm 2.5 \text{ dB}$$

Notas pertinentes ao exemplo 2

2.1 É provável que exista um atenuador na entrada do receptor, garantindo um baixo VRC, assim mesmo que a saída LISN não esteja próxima a 50 Ω , especialmente em baixas frequências, a incerteza defasada é relativamente insignificante.

2.2 Como as duas planilhas produzem sempre o mesmo total, seria interessante cotar uma figura única, cobrindo a faixa completa de frequências, digamos $\pm 2,6$ dB.

Exemplo 3

Medidas de Imunidade em Campo Elétrico Irrradiado a 3 V / m e 30 MHz a 300 MHz.

Contribuição	Distribuição	Incerteza ($\pm V/m$)
		30 Mhz - 300 MHZ
Calibração do monitor de intensidade de campo (± 1.0 dB)	normal (k=2)	0.37
Repetibilidade do sistema (contribuição prévia de $s(q_k)$ para 5 repetições, 1 leitura no ESE	desvio padrão	0.3
Repetibilidade no ESE*		-
Incerteza padrão combinada	normal	0.35
Incerteza expandida	normal (k=2.4)	0.84

Cálculo de incerteza padrão combinada:

$$u_c(y) = \sqrt{\left(\frac{0.37}{2}\right)^2 + 0.3^2} = 0.35 \text{ V/m}$$

 como $u_c(y) / s(q_k) < 3$ Apêndice III foi utilizado para obter um valor para k_p

$$v_{eff} = \frac{0.35^4}{\frac{0.3^4}{4} + \frac{0.185^4}{\infty}} = 7.4$$

 onde o número de leituras para se obter $s(q_k)$ foi 5, tendo $v_i = 4$

 retirado da tabela no Apêndice III $k_p = 2.4$, conseqüentemente:

$$U = 2.4 \times 0.35 = 0.84 \text{ V/m}$$

Notas pertinentes ao exemplo 3

3.1 O método de medida utilizado para este exemplo é uma técnica de substituição, onde a intensidade de campo foi pré-calibrada sem a presença do ESE, como é proposto nas versões draft de uma revisão da IEC 801-3: 1984. O padrão requer que a uniformidade da intensidade de campo esteja entre 0 e +6 dB, mas não é considerado necessário incluir isto como uma contribuição para a incerteza.

3.2 Neste caso, a leitura do monitor de intensidade de campo e o limite da especificação irão variar em termos de V / m, enquanto a incerteza de calibração do monitor e a repetibilidade do sistema serão mais provavelmente dados em dBs. Recomenda-se que a incerteza seja calculada em termos de V / m se for este o limite de especificação definido, no entanto, se o cálculo for feito em dBs, a diferença será insignificante para estes casos.



3.3 De forma a determinar a probabilidade da conformidade em um nível de confiança de 95%, torna-se necessário ensaiar em uma intensidade de campo de 3,84 V / m (nível de especificação de + 0,84 V / m). Se for detectada uma falha neste nível mas não no limite especificado, teremos uma situação equivalente ao caso B nas seção 4.5; já o caso C ocorre quando o produto falha em um nível de $3,0 - 0,84 = 2,16$ V / m ou superior.

3.4 A repetibilidade do sistema deve ser baseada em medições repetidas da calibração de uniformidade do campo, incluindo o reposicionamento da antena transmissora e a inicialização do nível de energia na entrada, em um número do monitor de localização e freqüências do campo.

* Um valor para a incerteza atribuída ao equipamento sob ensaio não é incluído nestes exemplos. Ele deverá ser considerado durante o ensaio e incluído no cálculo da incerteza deste se for uma contribuição significativa.

APÊNDICE III

Cálculo de k_p

Quando erros aleatórios em um sistema de medida são comparáveis aos erros sistemáticos, a incerteza expandida calculada utilizando a equação (8) pode ser subestimada, a menos que um grande número de leituras repetidas tenha sido feita.

Nestas circunstâncias um fator de eficiência k_p será necessário para ser obtido a partir da distribuição t, baseada nos graus efetivos de liberdade, ν_{eff} , de $u_c(y)$ e o nível requisitado de confiança.

Os graus efetivos de liberdade são calculados por:

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\frac{u_1^4(y)}{\nu_1} + \frac{u_2^4(y)}{\nu_2} + \frac{u_3^4(y)}{\nu_3} + \dots + \frac{u_m^4(y)}{\nu_m}}$$

Os graus de liberdade, ν_i , das incertezas padrão, baseados na avaliação tipo B, podem ser assumidos como sendo infinitos na maioria dos casos. Para incertezas padrão obtidas na avaliação do tipo A $\nu_i = n - 1$, onde n é o número de leituras utilizado para calcular $s(q)$.

O valor de k é obtido a partir das tabelas de distribuição t para os níveis apropriados de confiança. A tabela a seguir fornece valores de k para vários graus de liberdade ν_{eff} para um nível de confiança de 95%, (exatamente 95,45%). Valores de k para outros níveis de confiança são dados na referência [1].

ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	50	∞
k	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43	2.37	2.28	2.28	2.13	2.05	2.0

O critério dado no parágrafo 6.3 para determinar a necessidade de usar o procedimento apresentado neste Apêndice é baseado na conclusão de que, se $u_c(y) / u(q_k) > 3$ e todas as outras contribuições são assumidas ter infinitos graus de liberdade, então $\nu_{eff} > 81(3^4)$, fornecendo um valor para k inferior a 2,05, o qual pode ser aproximado para $k = 2$.

APÊNDICE IV

Cálculo de incertezas em quantidades logarítmicas ou lineares

A expressão geral que descreve uma medida, y , com sua incerteza, U , em valores relativos, baseada no produto de uma série de quantidades de entrada, x , e suas incertezas, $u(x_i)$ em valores relativos, é dada por:

$$y(1 \pm U) = x_1 [1 \pm u(x_1)] \cdot x_2 [1 \pm u(x_2)] \cdot x_3 [1 \pm u(x_3)] \dots x_N [1 \pm u(x_N)] \quad \text{IV (1)}$$

os termos de incerteza são:

$$[1 \pm U] = [1 \pm u(x_1)] \cdot [1 \pm u(x_2)] \cdot [1 \pm u(x_3)] \cdot [1 \pm u(x_N)] \quad \text{IV (2)}$$

a incerteza total pode ser aproximadamente expressa como:

$$U = u(x_1) + u(x_2) + u(x_3) \dots + u(x_N) \quad \text{IV (3)}$$

a qual está em uma forma que pode ser tratada por aproximação RSS. No entanto, tomando os logaritmos da equação IV (2) teremos:

$$\log[1 \pm U] = \log[1 \pm u(x_1)] + \log[1 \pm u(x_2)] + \log[1 \pm u(x_3)] + \log[1 \pm u(x_N)] \quad \text{IV (4)}$$

esta é uma expressão mais exata para a incerteza total do que a equação IV (3) e está também sujeita ao tratamento RSS. No entanto, se $u(x)$ em termos lineares for relativamente grande teremos:

$$\log[1 + u(x_i)] \neq \log[1 - u(x_i)] \quad \text{IV (5)}$$

Estará correto combinar incertezas em forma linear, ex: %, ou logarítmica, ex: dB, dependendo somente de suas distribuições de probabilidades, para que sejam melhor descritas em forma linear ou logarítmica. Se as incertezas para as contribuições principais são fornecidas em termos de dB, poderá ser assumido que a distribuição de probabilidades para estas também deverá estar em dBs.

Na prática, a diferença no cálculo de $u_c(y)$ entre dBs ou % é relativamente pequena. No exemplo 1, o valor positivo para a antena bicônica de 3m é +2,19 dB quando calculado em dB. Se as contribuições em dB forem convertidas para frações percentuais de tensão e o $u_c(y)$ calculado for convertido de novo a dB, o resultado será +2,13 dB, ou seja, uma diferença de 0,06 dB. No entanto, as duas incertezas expandidas são +4,38 dB (calculada em dB) e +3,83 dB (55,5%), uma diferença de 0,55 dB.

É recomendável que o limite de especificação seja dado em termos de dB, ex: dB μ V, e como a contribuição das incertezas é também mais comumente apresentada em dB, então os cálculos de incerteza deverão ser feitos em dBs. Se o limite de especificação é dado em termos absolutos, ex: V / m, então os cálculos deverão ser feitos em unidades absolutas.