

	DETERMINAÇÃO DE INCERTEZA EM INSTRUMENTOS/SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	NORMA N.º NIT-SEGEL-015	REV. N.º 00
		APROVADA EM NOV/2017	PÁGINA 01/06

SUMÁRIO

- 1 **Objetivo**
- 2 **Campo de aplicação**
- 3 **Responsabilidade**
- 4 **Documentos de referência**
- 5 **Documentos complementares**
- 6 **Definições**
- 7 **Medição de energia elétrica**
- 8 **Cálculo da incerteza de medição de energia elétrica**
- 9 **Expressão da incerteza de medição**
- 10 **Histórico da revisão e quadro de aprovação**

1 OBJETIVO

Esta Norma tem por objetivo estabelecer procedimentos e roteiros de cálculo para a determinação da incerteza de medição de sistemas de medição de energia elétrica.

2 CAMPO DE APLICAÇÃO

Esta Norma aplica-se à Dimel/Segel e aos Órgãos Delegados da RBMLQ-I.

3 RESPONSABILIDADE

A responsabilidade pela aprovação, revisão e cancelamento desta Norma é da Dimel/Segel.

4 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

GUM/2008	Avaliação de dados de medição - Guia para a expressão de incerteza de medição
EA - 4/02	Expressão da Incerteza de Medição (Versão Brasileira do Documento de Referência)
Portaria Inmetro n° 232 de 08/05/2012	Adota no Brasil a 1ª Edição Luso-brasileira do Vocabulário Internacional de Metrologia - Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados (VIM 2012)
Portaria Inmetro n° 587 de 05/11/2012	Aprova o Regulamento Técnico Metrológico - RTM para medidores eletrônicos de energia elétrica ativa e/ou reativa, monofásicos e polifásicos, inclusive os reconicionados
IEEE 1459-2010	<i>IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balance, or Unbalanced Conditions</i>
NBR 14519:2011	Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica – Especificação

	NIT- SEGEL-015	REV. 00	PÁGINA 02/06
---	-----------------------	--------------------	-------------------------

Continua

NBR 14520:2011	Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica – Método de Ensaio
NBR 5891:2014	Regras de Arredondamento na Numeração Decimal

5 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

Não aplicável.

6 DEFINIÇÕES

6.1 Siglas

As siglas das UP/UO do Inmetro podem ser acessadas no link:

<http://intranet.inmetro.gov.br/tema/qualidade/docs/pdf/siglas-inmetro.pdf>

6.2 Termos

6.2.1 Instrumento de medição de energia elétrica – dispositivo utilizado para realizar medições de energia elétrica, individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares.

6.2.2 Sistema (Bancada ou Mesa) de medição de energia elétrica – sistema formado por um ou mais instrumentos de medição, fontes de corrente e de tensão, transformadores isoladores, dispositivos de processamento digital, dentre outros, utilizado para realizar medições de energia elétrica.

6.2.3 Padrão de medição de referência – instrumento, sistema de medição ou padrão utilizado como referência para a calibração.

6.2.4 Ponto específico de ensaio - conjunto de valores de grandezas (combinações de tipo de energia, tensão, corrente, fator de potência, frequência, harmônicos, fases e ligações) que influencia e define um cenário de geração ou consumo de energia elétrica.

6.2.5 Energia elétrica ativa - aquela que produz trabalho e pode ser convertida em outro tipo de energia e é calculada através da integração temporal do produto entre tensão e corrente:

$$E = \int v(t)i(t)dt$$

6.2.6 Energia elétrica reativa - aquela utilizada para energizar os campos magnéticos de indutores e os campos elétricos de capacitores. Em situações com formas de onda não-senoidal, sua caracterização é complexa, como disposto na Norma IEEE 1459-2010.

6.2.7 Distorção harmônica total - para um sinal de tensão ou corrente, é razão entre as raízes médias quadráticas da componente harmônica e da componente fundamental.

	NIT- SEGEL-015	REV. 00	PÁGINA 03/06
---	----------------	------------	-----------------

7 MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

7.1 A medição de energia elétrica deve ser realizada através do método do medidor padrão.

7.2 A indicação da medição deve ser expressa em erro percentual da energia elétrica medida pelo sistema de medição de energia elétrica em relação àquela medida pelo padrão de medição de energia elétrica.

8 CÁLCULO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

8.1 Orientações gerais

8.1.1 A incerteza de medição de um instrumento ou sistema de medição de energia elétrica deve ser calculada a partir da comparação de seus resultados de medição com aqueles de um padrão de medição de referência.

8.1.2 O resultado da medição deve ser sempre o erro percentual de medição de energia elétrica, quer fornecido diretamente pelo padrão ou sistema de medição de energia elétrica, quer calculado através de procedimento algorítmico.

8.1.3 Para o cálculo da incerteza de medição, o padrão de medição de referência utilizado para comparação deve estar calibrado, dentro do período de validade da calibração, nos diferentes pontos específicos de ensaio do mensurando.

8.1.4 A incerteza de medição só pode ser calculada nos pontos específicos de ensaio em que o padrão de medição de referência houver sido calibrado ou, em caso de comprovada estabilidade do mesmo, em pontos interpolados através de algoritmo matemático adequado.

8.1.5 Os dados do certificado de calibração do padrão de medição de referência deverão ser utilizados para o cálculo da incerteza de medição, correção de erros sistemáticos e eventual deriva do mensurando.

8.1.6 Cada diferente ponto específico de ensaio deve ter um valor de incerteza de medição associado.

8.2 Cálculo da incerteza de medição

8.2.1 A incerteza de medição é calculada levando-se em consideração avaliações do tipo A e avaliações do tipo B.

8.2.2 Avaliação do Tipo A da incerteza de medição

8.2.2.1 A avaliação das incertezas de medição do tipo A deve ser realizada através de cálculo estatístico com valores medidos através da repetição de ensaios em cada um dos pontos específicos de ensaio estabelecidos de acordo com o item 8.1.3.

8.2.2.2 Considerando-se que, em determinado ponto específico de ensaio, devam ser realizadas n medições, devem ser adquiridos n valores de erros de medição q_1, q_2, \dots, q_n , através da repetição dos ensaios.

	NIT- SEGEL-015	REV. 00	PÁGINA 04/06
---	-----------------------	--------------------	-------------------------

8.2.2.3 Nos casos onde os resultados da medição são valores de energia elétrica, os erros percentuais de medição devem ser levantados subtraindo-se destes valores aqueles medidos no padrão de medição de referência e dividindo-se pelo último.

8.2.2.4 O número de graus de liberdade da amostra, ν , é definido como $\nu = n - 1$.

8.2.2.5 Para cada ponto específico de ensaio, o valor médio dos erros de medição, \bar{q} , deve ser calculado como a média aritmética dos erros individuais, segundo $\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$, resultando no valor de correção do erro sistemático.

8.2.2.6 O desvio padrão experimental dos resultados de medição, s_q deve ser calculado segundo a fórmula estatística: $s_q = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(q_i - \bar{q})^2}{\nu}}$.

8.2.2.7 O desvio padrão experimental da média, $s_{\bar{q}}$, é calculado através da fórmula estatística: $s_{\bar{q}} = \frac{s_q}{\sqrt{n}}$.

8.2.2.8 O fator de abrangência, k , é calculado segundo o número de graus de liberdade efetivos, ν_{eff} , determinado pela fórmula de Welch-Satterthwaite, e pela probabilidade de abrangência, pressupondo-se uma distribuição t de Student para os erros de medição.

8.2.3 Avaliação do Tipo B da incerteza de medição

8.2.3.1 A avaliação das incertezas de medição do tipo B deve ser realizada através de dados fornecidos pelos certificados de calibração do padrão de referência, em cada ponto específico de ensaio.

8.2.3.2 A componente de incerteza devido à resolução (δ_{res}) é calculada a partir do valor da constante de medição kh do sistema de medição de energia elétrica em cada ponto, dada em Wh/pulso, convertida para uma base percentual em relação ao valor total da energia medida no ponto de ensaio específico.

8.2.3.3 Considerando uniforme (retangular) a distribuição dos erros devido à resolução do sistema de medição, a sua incerteza associada, $u_{\delta_{res}}$, é igual ao valor da constante de medição kh (resolução δ_{res}), dividida pelo fator de abrangência da distribuição retangular ($\sqrt{3}$), $u_{\delta_{res}} = \frac{\delta_{res}}{\sqrt{3}}$.

8.2.3.4 A componente de incerteza de medição de um ponto específico de ensaio, associada ao certificado de calibração do padrão de medição de referência ($U_{(PR)}$), deve ser obtida a partir do respectivo certificado, que deve também indicar explicitamente o fator de abrangência (k_c) utilizado. Assim, a incerteza padrão associada à calibração do padrão de medição de referência é calculada como $u_{(PR)} = \frac{U_{(PR)}}{K_c}$ dada em uma base percentual.

8.2.3.5 A componente de incerteza associada à deriva temporal do instrumento, u_{DT} , é calculada a partir do delta $\Delta = E_{maior} - E_{menor}$, sendo E_{maior} e E_{menor} o maior e o menor valor de erro, respectivamente, comparando os erros dos últimos certificados de calibração já emitidos para o padrão. Isso significa que o erro atual, da medição para cujo erro a incerteza está sendo avaliada, não entra no cálculo do delta. Também considerando uniforme (retangular) tal distribuição, a sua componente de incerteza associada,

	NIT- SEGEL-015	REV. 00	PÁGINA 05/06
---	-----------------------	--------------------	-------------------------

u_{DT} , é igual ao valor de delta, dividido pelo fator de abrangência da distribuição retangular ($\sqrt{3}$),
 $u_{DT} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}$.

8.2.4 Cálculo da Incerteza Padrão Combinada

8.2.4.1 A incerteza padrão combinada é calculada através da soma quadrática das incertezas tipo A e tipo B avaliadas anteriormente $u_c = \sqrt{s_{\bar{q}}^2 + u_{\delta_{res}}^2 + u_{(PR)}^2 + u_{DT}^2}$.

8.2.5 Cálculo da Incerteza de Medição Expandida

8.2.5.1 A incerteza de medição combinada deve ser multiplicada pelo fator de abrangência utilizado, k , para fornecer a incerteza de medição expandida $U = k u_c$.

8.2.5.2 O fator de abrangência utilizado, k , a que se refere o item 8.2.2.8, deve ser calculado supondo-se que a incerteza combinada siga uma distribuição t de Student com v_{eff} graus de liberdade, calculados pela fórmula de Welch-Satterthwait

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{s_{\bar{q}}^4}{v} + \frac{u_{\delta_{res}}^4}{v_{\delta_{res}}} + \frac{u_{(PR)}^4}{v_{u_{(PR)}}} + \frac{u_{DT}^4}{v_{u_{DT}}}}$$

Para tanto, assume-se que o número de graus de liberdade para incertezas com distribuições de probabilidade consideradas retangulares, como suposto para aquelas associadas à resolução e à calibração, seja infinito.

9 EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

9.1 Grafia do Resultado de Medição

9.1.1 O valor da incerteza de medição deve ser arredondado para conter no máximo dois algarismos significativos, não importando quantas casas decimais resultem. O resultado da medição deve ser arredondado para conter o mesmo número de casas decimais do valor da incerteza de medição.

9.1.2 Os arredondamentos devem ser deixados para o final, no momento de escrever o resultado de medição. Segundo norma brasileira NBR 5891, três regras de arredondamento são estabelecidas:

- Quando o algarismo imediatamente seguinte ao último algarismo a ser conservado for inferior a cinco, o último algarismo a ser conservado permanecerá sem modificação;
- Quando o algarismo imediatamente seguinte ao último algarismo a ser conservado for superior a cinco, ou sendo cinco, for seguido de no mínimo um algarismo diferente de zero, o último algarismo a ser conservado deverá ser aumentado de uma unidade.
- Quando o algarismo imediatamente seguinte ao último algarismo a ser conservado for cinco seguido de zeros, o último algarismo a ser conservado poderá ou não ser modificado. Será mantido sem modificações se for par ou acrescido de uma unidade se for ímpar.

	NIT- SEGEL-015	REV. 00	PÁGINA 06/06
---	-----------------------	--------------------	-------------------------

9.2 Expressão Final da Incerteza de Medição

9.2.1 O resultado da medição geralmente é expresso por um valor medido (q), acompanhado de uma incerteza de medição expandida (U), como $q \pm U$, seguido da correspondente unidade, indicando ainda o fator de abrangência ou probabilidade de abrangência utilizados. Alternativamente, a incerteza associada a cada ponto específico de ensaio pode ser expressa sozinha, desde que claramente indicada e acompanhada do respectivo fator de abrangência ou probabilidade de abrangência utilizados.

10 HISTÓRICO DA REVISÃO E QUADRO DE APROVAÇÃO

Revisão	Data	Itens Revisados
00	Novembro/2017	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esta Norma substitui e cancela a NIT-Digel-003

Quadro de aprovação		
	Nome	Atribuição
Elaborado por:	Lúnia Coelho de Almeida de Lima	Pesquisadora do Segel
Verificado por:	Bruno Couto	Técnico do Segel
	Amsterdam de J. S. Marques de Mendonça	Coordenador da qualidade da Dimel
Aprovado por:	Juan Carlos Mateus Sánchez	Chefe do Segel
