

## Estimativa de incerteza na calibração de instrumentação virtual

### Uncertainty estimation in the calibration of virtual instrumentation

**Artur Augusto Martins**<sup>1</sup>, **Regis Renato Dias**<sup>1</sup>, **Diego Joriro Nazarre**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT

E-mail: [arturm@ipt.br](mailto:arturm@ipt.br); [rdias@ipt.br](mailto:rdias@ipt.br); [diegoj@ipt.br](mailto:diegoj@ipt.br)

**Resumo:** Este trabalho apresenta um estudo realizado com centenas de placas de instrumentação virtual que foram calibradas pelo laboratório de metrologia elétrica do IPT nos últimos 4 anos. Uma componente de incerteza do tipo A foi estimada com base nos dados históricos dessas calibrações, para ser combinada com as outras fontes de incerteza e ser usada no cálculo da incerteza final de medição, conforme o ISO GUM.

**Palavras-chave:** Análise de Dados, Cálculo de Incerteza, Instrumentação Virtual.

**Abstract:** This work presents a study carried out with hundreds of virtual instrumentation boards that were tested by the laboratory of electrical metrology at IPT in the last 4 years. An uncertainty component of type A was estimated based on the historical data in this calibrations, it could be combined with other sources of uncertainty to be used in expression of uncertainty in measurement, according to ISO GUM.

**Keywords:** Data Analysis, Uncertainty Calculation, Virtual Instrumentation.

#### 1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Metrologia Elétrica (LME) do IPT atua, entre diversas outras áreas da metrologia, na calibração e ajuste de placas de instrumentação virtual. Este tipo de instrumentação, diferente da tradicional, consiste de um computador com um software especializado na tarefa que se deseja realizar e um hardware modular com custo otimizado, que contém uma ou mais placas intercambiáveis em diversos “slots” de uma interface PCI ou PXI [1].

A construção de uma aplicação para este tipo de hardware depende, ou da utilização de softwares de alto nível onde o acesso aos drivers para controle destas placas pode ser facilitada por

meio de interfaces gráficas, ou pelo desenvolvimento de softwares mais baixo nível para acessar diretamente a sua API.

Os softwares utilizados pelo LME para a realização da calibração e ajuste das placas, são de propriedade do fabricante das mesmas e não fornecem todos os dados necessários para que seja estimada uma incerteza de medição conforme a metodologia tradicional descrita no documento ISO GUM [2]. Desta forma, o laboratório fica limitado a apresentar apenas resultados “Antes do Ajuste” e “Depois do Ajuste”, sem expressar uma componente de incerteza final e sua distribuição de saída.

Este trabalho apresenta uma metodologia adotada para a estimativa de uma componente de incerteza do Tipo A, baseada na análise do histórico de resultados e da experiência que o LME acumulou em relação a alguns tipos de placas.

Um trabalho que utiliza metodologia semelhante para a estimativa de uma componente de incerteza “drift” já foi apresentado [3]. Diferentemente, o trabalho aqui apresentado deverá estimar uma distribuição de erro, já que as amostras sob estudo são ajustadas periodicamente.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Amostras

Foram escolhidos três tipos similares de placas para a realização deste trabalho. Apesar de serem de modelos diferentes, são de uma mesma família, portanto apresentam funcionalidades similares e requerem calibração das mesmas funções, alterando apenas a quantidade de canais de entrada e saída, conforme apresentado na tabela 1.

**Tabela 1.** Tipos de placas analisadas.

Descrição	Canais de entrada	Canais de saída	Tipo de Interface
Tipo 1	2	2	PXI/PCI
Tipo 2	4	0	PXI/PCI
Tipo 3	4	0	PXI

Para estes três modelos, o LME possui um grande histórico de calibrações. Nesse estudo foram analisados os dados de cerca de 670 calibrações realizadas.

### 2.2. Organização e Análise dos Dados

Todos os resultados das calibrações realizadas pelo laboratório nas placas foram extraídos de tabelas formatadas pelo programada para a apresentação e convertidas para uma matriz, utilizando softwares especializados para análise

de dados. Em seguida, os dados foram agrupados por tipos de testes e separados pelas situações “Antes do ajuste” e “Depois do ajuste”.

## 3. RESULTADOS

Para cada ponto calibrado, foi calculado o desvio padrão e erro médio. Os resultados são apresentados nas tabelas 2 e 3.

**Tabela 2.** Resultados “Antes do ajuste”.

Faixa	Erro	$\sigma$
0,3 V - Medição	-1,40.10 <sup>-4</sup> V	5,5.10 <sup>-5</sup> V
0,65 V - Medição	-1,29.10 <sup>-4</sup> V	5,9.10 <sup>-5</sup> V
0,9 V - Medição	-1,78.10 <sup>-4</sup> V	8,2.10 <sup>-5</sup> V
1,3 V - Medição	-2,26.10 <sup>-4</sup> V	9,8.10 <sup>-5</sup> V
3 V - Medição	-8,3.10 <sup>-4</sup> V	2,2.10 <sup>-4</sup> V
9 V - Medição	-9,2.10 <sup>-4</sup> V	8,3.10 <sup>-4</sup> V
0,09 V - Geração	2,4.10 <sup>-5</sup> V	9,4.10 <sup>-5</sup> V
0,9 V - Geração	2,0.10 <sup>-4</sup> V	4,1.10 <sup>-4</sup> V
9 V - Geração	2,7.10 <sup>-3</sup> V	4,0.10 <sup>-3</sup> V
10 kHz-Base de tempo	1,9.10 <sup>-2</sup> Hz	1,1.10 <sup>-1</sup> Hz

**Tabela 3.** Resultados “Depois do ajuste”.

Faixa	Erro	$\sigma$
0,3 V - Medição	-1,25.10 <sup>-4</sup> V	5,5.10 <sup>-5</sup> V
0,65 V - Medição	-1,02.10 <sup>-4</sup> V	7,0.10 <sup>-5</sup> V
0,9 V - Medição	-1,21.10 <sup>-4</sup> V	6,5.10 <sup>-5</sup> V
1,3 V - Medição	-1,7.10 <sup>-4</sup> V	1,3.10 <sup>-4</sup> V
3 V - Medição	-6,4.10 <sup>-4</sup> V	1,6.10 <sup>-4</sup> V
9 V - Medição	-5,0.10 <sup>-4</sup> V	7,5.10 <sup>-4</sup> V
0,09 V - Geração	2,3.10 <sup>-6</sup> V	2,2.10 <sup>-5</sup> V
0,9 V - Geração	2,2.10 <sup>-5</sup> V	8,5.10 <sup>-5</sup> V
9 V - Geração	2,6.10 <sup>-4</sup> V	6,7.10 <sup>-4</sup> V
10 kHz-Base de tempo	-1,3.10 <sup>-4</sup> Hz	1,1.10 <sup>-2</sup> Hz

Menos de 1% das placas calibradas tiveram algum ponto de medição fora dos limites esperados pelo fabricante, e que após sofrer o ajuste, voltaram dentro dos limites esperados.

Para a maioria dos pontos calibrados, e ajustados posteriormente, o efeito do ajuste em relação à média do erro é pequeno, em alguns casos foi observado diferenças significativas no desvio padrão dos erros encontrados. Os casos mais expressivos são exibidos graficamente por meio de histogramas, conforme figura 1, figura 2 e figura 3 a seguir.

O tamanho da janela mostrada no eixo x em cada gráfico é numericamente igual aos limites inferiores e superiores, respectivamente.

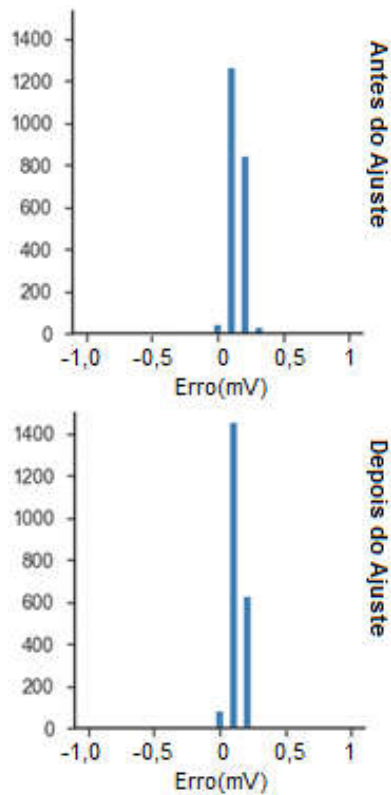


Figura 1 - Distribuição do erro, ponto 0,3 V - Medição. A distribuição discreta das leituras acontece devido à resolução efetiva da medição.

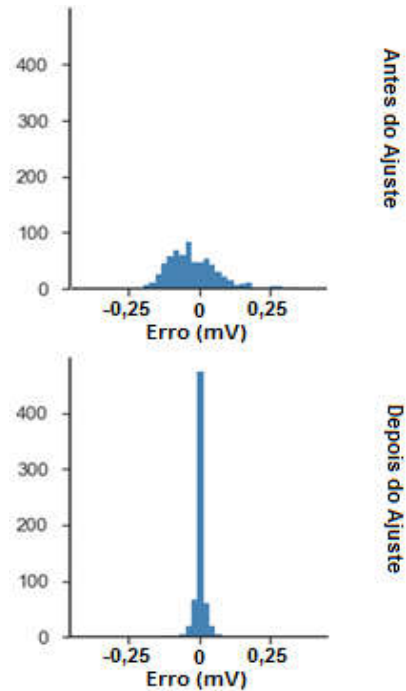


Figura 2 – Distribuição do erro, ponto 0,090 V-Geração.

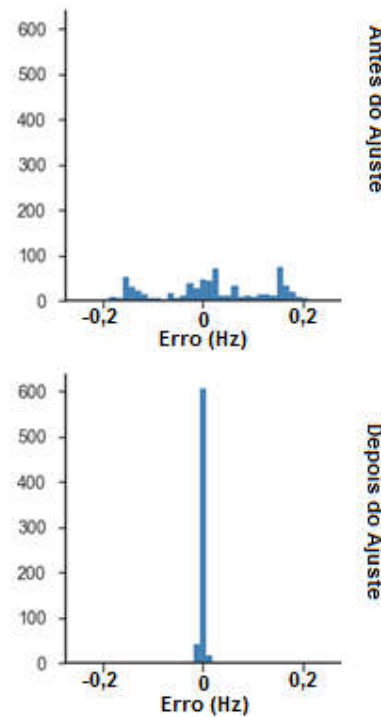


Figura 3 – Distribuição do erro para Base de Tempo

A tabela 4 demonstra uma possibilidade de utilização prática dos resultados obtidos para a estimativa de incerteza de medição da geração de tensão para uma das placas de instrumentação virtual testadas.

O teste foi realizado no ponto de 90 mV incluindo a componente “Histórico Instrumentação”, obtido do desvio padrão dos erros, como a componente de incerteza do Tipo A, com distribuição normal. Esta escolha resultou em uma boa aproximação de um distribuição t-student bicaudal com um número elevado de graus de liberdade efetivo e intervalo de confiança de 95 %. Os dados são baseados numa situação “Depois do Ajuste”, com valor medido pelo multímetro de 0,090002 V.

**Tabela 4.** Componentes de incerteza.

Componente	Incerteza (V)	Divisor	Contribuição da Incerteza padrão (V)
Exatidão do Multímetro	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$\sqrt{3}$	$4,62 \cdot 10^{-6}$ V
Calibração do Multímetro	$1,6 \cdot 10^{-6}$	2	$8,00 \cdot 10^{-7}$ V
Resolução do Multímetro	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$\sqrt{12}$	$2,89 \cdot 10^{-7}$ V
Histórico Instrumentação	$2,2 \cdot 10^{-5}$	25,396	$8,66 \cdot 10^{-7}$ V
Resolução de 24 - bit	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$\sqrt{12}$	$7,22 \cdot 10^{-7}$ V

O sinal medido com valor nominal de 0,09 V é declarado com  $(90,002 \pm 0,009)$  mV.

#### 4. CONCLUSÃO

Os exemplos apresentados graficamente demonstram que a instrumentação testada possui uma grande banda de segurança. Mesmo para os casos onde a dispersão é observada com maior frequência, ao que consta nos dados compilados, foram poucas as ocorrências de falhas.

As placas que tiveram algum ponto de medição fora dos limites esperados pelo fabricante, normalmente foram devido à inobservância de

condições básicas de funcionamento de instrumentos de medição: trabalhar em ambiente livre de poeira, incorreto (ou ineficiente) sistema de ventilação das placas (causando desgaste excessivo das mesmas), problemas na armazenagem, incorreto manuseio das placas e extensão do período recomendado entre calibrações.

Devida à baixa recorrência de uma mesma placa, à não observância do intervalo de calibração sugerido pelo fabricante, e o ajuste periódico sofrido pelas placas; não foi possível estabelecer um *drift* típico para os dados históricos.

Com a análise dos dados históricos, foi possível estimar e expressar com maior confiabilidade os resultados das medições realizadas com controle automático pelo software do fabricante das placas de instrumentação virtual, diminuindo o tempo de medição nas calibrações com declaração de incerteza para cada ponto.

Pretende-se, como trabalho futuro, estimar a componente de incerteza “Histórico Instrumentação” para todos os equipamentos de instrumentação virtual que tenham um considerável número de calibrações, e dados para análise.

#### 4. REFERÊNCIAS

- [1] National Instruments *Instrumentação Virtual* 2009 <http://www.ni.com/white-paper/4752/pt/>
- [2] Avaliação de dados de medição - Guia para a expressão de incerteza de medição—GUM 2008
- [3] Calum Hardie, NEL *Uncertainty Analysis Based on Historical Data* NFOGM

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à MCTIC e FINEP pelo seu apoio financeiro através do Sistema Brasileiro de Tecnologia (SIBRATEC).