



ANÁLISE DOS PADRÕES DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA DO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS DA ELETRONORTE PARA MELHORIA DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Thiago Brito P. de Souza¹, Marcelo Melo da Costa², Thiago Mota Soares³

¹ Centro de Tecnologia da Eletronorte, Belém, Brasil, thiago.brito@eln.gov.br

² Centro de Tecnologia da Eletronorte, Belém, Brasil, marcelo.melo@eletronorte.gov.br

³ Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, thiago_motasoaes@yahoo.com.br

Abstract: The main purpose of this work is the assessment of the time stability and the repeatability of a low-resistance decade, used as a working standard in the Laboratório de Calibração de Grandezas Elétricas (CAEL) of the Centro de Tecnologia da Eletronorte, in a period of 3 months for the use of this instrument as transference standard, and the evaluation of the time stability of the laboratory's Reference Calibrator.

Keywords: Estabilidade temporal, repetitividade, melhor capacidade de medição, padrão de transferência.

1. INTRODUÇÃO

A elevada complexidade e sofisticação dos processos industriais associados com as exigências de um maior comprometimento das indústrias com a qualidade dos seus produtos, provenientes da acirrada competitividade existente nos dias atuais incitou os industriais a procurar laboratórios de calibração a fim de adequarem seus instrumentos de medição as novas exigências metrológicas do mercado.

Na procura de laboratórios que forneçam serviços de calibração, um aspecto bastante relevante a ser verificado é a melhor capacidade de medição do escopo de acreditação do laboratório, tendo em vista que ele fornece as restrições do laboratório referentes às calibrações acreditadas.

Todo instrumento apresenta uma degradação de suas características com o passar do tempo. Essa degradação está associada com o envelhecimento dos próprios materiais utilizados na sua construção, sua exposição às diversas condições ambientais, choques mecânicos e etc.

Nos instrumentos padrão de medição, esta degradação ocasiona um aumento da sua incerteza resultando numa diminuição de sua confiabilidade. A análise da estabilidade é um meio de verificar como um determinado instrumento está se comportando durante certo período e avaliar a sua confiabilidade numa determinada aplicação.

A resistência elétrica é uma grandeza muito importante nos diversos sistemas elétricos, embora seja a principal responsável pelas perdas por efeito Joule, ela proporciona muitos benefícios aos engenheiros como: a limitação de

corrente em um determinado componente elétrico, medição de temperatura utilizando RTDs, isolamento de condutores e etc. A medição de resistência permite ao engenheiro o conhecimento do nível de resistência em uma determinada isolamento, da resistência de aterramento, da resistência dos contatos dos relés, medição de temperatura e etc.

O presente trabalho tem a finalidade de avaliar a estabilidade temporal da década de baixa resistência utilizada como um padrão de trabalho pelo CAEL através de uma série de calibrações num curto período de tempo e, por meio do método de substituição, verificar a possibilidade de utilizá-la como um padrão de substituição. Além do estudo da década resistiva, o trabalho abrange o levantamento de uma nova melhor capacidade de medição de resistência do Calibrador de Resistência elétrica Padrão usado também como padrão de trabalho deste laboratório, tendo como base a estabilidade temporal do calibrador através do histórico de calibrações do padrão.

2. METODOLOGIA APLICADA

A metodologia aplicada no estudo do comportamento temporal da década resistiva padrão consistiu de três etapas: A primeira etapa consistiu no levantamento da estabilidade temporal diária da década resistiva, para isso, foram realizadas trinta calibrações semi-automáticas da década utilizando como padrão um multímetro digital de 8 ½ dígitos num período de 75 dias, de 05/06 até 21/08/2008, num ambiente com temperatura e umidade rigorosamente controladas através de instrumentos de medição. Essa etapa foi utilizada para validar a estabilidade temporal de curto prazo. Um fator importante nesse estudo foi a minimização da incerteza tipo A, através do controle da temperatura e da umidade do laboratório e da redução de interferências eletromagnéticas.

A segunda etapa consistiu na avaliação da utilização da década como dispositivo para calibração utilizando o método de substituição. Para isso foi calibrado um multímetro digital de 8 ½ dígitos utilizando-se como padrão outro multímetro de 8 ½ dígitos com rastreabilidade, calibrado na RBC. Os multímetros realizavam leituras alternadamente na década resistiva. Nessa etapa, a década

resistiva foi utilizada como uma “fonte de resistência”, ou seja, ela foi responsável pelo fornecimento da resistência para ambos os multímetros. O trabalho foi realizado considerando-se leituras sucessivas no mesmo ponto e leituras alternadas, com 3 leituras por ponto.

Por fim, a terceira etapa consistiu no levantamento da estabilidade temporal do Calibrador Padrão de Resistência do laboratório a fim de diminuir sua incerteza de medição através do uso da estabilidade, com base no histórico de calibrações do Calibrador.

Todas as calibrações realizadas neste trabalho tiveram suas incertezas de medição expressas utilizando-se a versão brasileira do documento de referência EA-4/02 – Expressão da Incerteza de medição na Calibração e os Procedimentos e Instruções técnicas internas deste laboratório, de tal forma a harmonizar a avaliação da incerteza de medição.

3. RESULTADOS

Após a primeira etapa do estudo, pode-se verificar a variação dos pontos calibrados da década em três meses. A década resistiva é construída com 6 dials, cada dial com 10 pontos de resistência. Foram calibrados três pontos de cada dial da década, considerando-se 3 leituras alternadas para cada ponto, utilizando-se um multímetro digitalk de referência de 8 ½ dígitos.

Neste trabalho analisaremos, também para fins de comparação com o calibrador padrão, somente alguns pontos de resistência. As figuras 1, 2, 3 e 4 mostram a variação dos erros dos dials 1Ω, 10Ω, 100Ω e 1kΩ durante o período analisado.

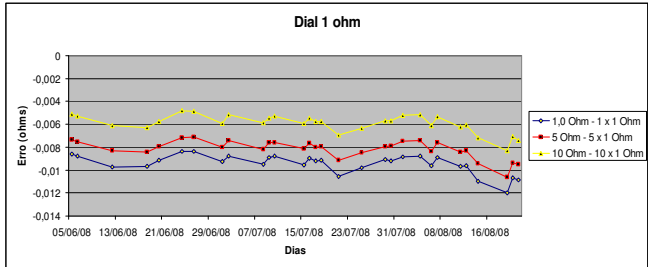


Fig. 1. Variação dos erros do dial de 1Ω da década.

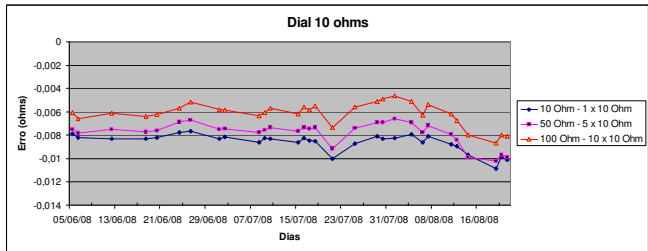


Fig. 2. Variação dos erros do dial de 10Ω da década.

Na figura 1 e 2 pode-se perceber uma variação constante do erro dos três pontos calibrados nesse dial, além de uma variação de aproximadamente de -0,002Ω entre a primeira calibração e a última no período de 75 dias.

A análise da deriva (variação das características de um instrumento de medição como passar do tempo) de um instrumento tem sido feita baseada no histórico de

calibrações desse instrumento. A deriva diária média da década resistiva é calculada pela equação 1, dada a seguir.

$$Deriva_{media} = \frac{erro_N - erro_1}{N - 1} \tag{1}$$

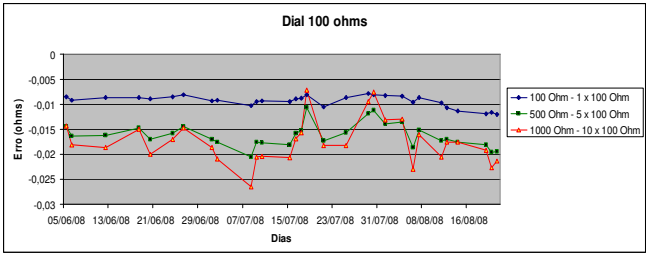


Fig. 3. Variação dos erros do dial de 100Ω da década.

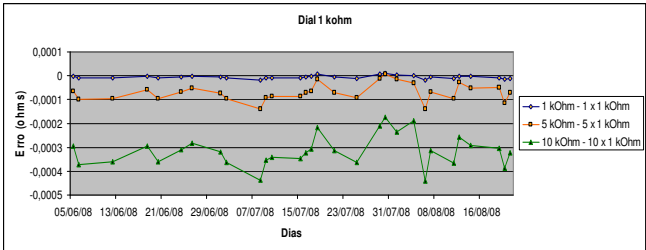


Fig. 4. Variação dos erros do dial de 1kΩ da década.

Durante essas calibrações, manteve-se a temperatura dentro de uma variação de ±1°C e a umidade relativa do ar variando ±5%. E um fator importante foi a redução da incerteza tipo A com o aumento do número de leituras. A análise da deriva foi realizada utilizando-se vários métodos a fim de verificar qual apresenta resultados mais satisfatório. A tabela 1 mostra a deriva, calculada através da equação 1, durante todo o período de calibração para alguns pontos.

Tabela 1. Deriva diária da década resistiva durante os 75 dias

Pontos Calibrados	Deriva diária média (%)
1,0 Ω (1 x 1 Ω)	-0,23
10 Ω (10 x 1 Ω)	-0,23
10 Ω (1 x 10 Ω)	-0,22
100 Ω (10 x 10 Ω)	-0,20
100 Ω (1 x 100 Ω)	-0,35
1 kΩ (10 x 100 Ω)	-0,70
1 kΩ (1 x 1 kΩ)	-0,00065
10 kΩ (10 x 1 kΩ)	-0,0028

Com base na tabela 1, verificou-se que quase todos os valores de deriva apresentaram valores elevados e que os valores da deriva diária apresentaram valores maiores que as especificações do fabricante de erro máximo admissível. Na tabela 2 é mostrado as especificações do fabricante da década.

Tabela 2. Especificação do fabricante da década resistiva.

Dial da década	Erro máximo (%)
10 x 1 Ω	±0,05
10 x 10 Ω	±0,01
10 x 100 Ω	±0,01
10 x 1 kΩ	±0,01

Aplicando a técnica de regressão linear, obtiveram-se relações lineares entre o erro e o tempo. No anexo, estão os gráficos representando cada uma das relações obtidas pela regressão linear. A tabela 3 mostra os valores da deriva diárias obtidas pela regressão linear.

Tabela 3. Deriva diária da década resistiva

Pontos Calibrados	Deriva diária através da regressão linear (%)
1,0 Ω (1 x 1 Ω)	-0,85
10 Ω - 10 x 1 Ω	-0,51
10 Ω - 1 x 10 Ω	-0,77
100 Ω - 10 x 10 Ω	-0,56
100 Ω - 1 x 100 Ω	-0,82
1 k Ω - 10 x 100 Ω	-1,7
1 k Ω - 1 x 1 k Ω	-0,00063
10 k Ω - 10 x 1 k Ω	-0,034

Pode ser verificado que através de técnica da regressão linear, obtiveram-se valores de deriva diária elevados. E análise de variância da relação mostrou que alguns pontos não apresentaram uma relação linear.

Na segunda etapa do estudo, referente à possibilidade de utilização da década como um padrão de transferência, foram obtidos os valores da incerteza tipo A para os pontos de 1 Ω , 10 Ω , 100 Ω , 1k Ω e 10 k Ω , o que permite caracterizar a década quanto a sua repetitividade. As tabelas 4 e 5 mostram, respectivamente, os valores da repetitividade da década resistiva adquiridas por leituras ponto a ponto e alternadas dos valores de resistência.

Tabela 4. Valores da repetitividade de leitura ponto a ponto

Pontos Calibrados	Valores de Repetitividade (%)
1,0 Ω	0,011
10 Ω	0,012
100 Ω	0,020
1 k Ω	0,000039
10 k Ω	0,00056

Tabela 5. Valores da repetitividade de leitura alternadas

Pontos Calibrados	Valores de Repetitividade (%)
1,0 Ω	0,038
10 Ω	0,020
100 Ω	0,017
1 k Ω	0,000021
10 k Ω	0,00024

De acordo com as tabelas, verifica-se que a repetitividade das leituras foram baixas, apresentando valores de repetitividade maiores ou próximos aos limites da tabela 2. E os valores de repetitividade para pontos a partir de 100 Ω apresentaram valores muito baixos se comparados

com os da tabela 2 e, portanto apresentando uma alta repetitividade para a leitura.

Na segunda etapa, foi verificado, que para valores baixos de resistência, até aproximadamente o ponto de 90 Ω , que a incerteza tipo A apresentou uma maior contribuição em relação às outras, como pode ser visualizado na fig. 5. Nessa figura, são destacados as contribuições de incerteza tipo A tanto do padrão quanto do instrumento sob calibração.

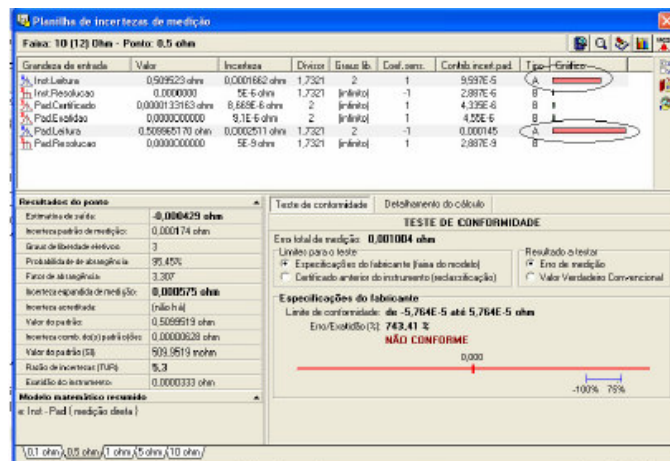


Fig. 5. Orçamento de incerteza para o ponto de 0,5 Ω .

Para resistências a partir de 90 Ω , pode-se perceber uma maior estabilidade da década em suas leituras. Isso pode ser comprovado na figura 6, onde são circulados as contribuições de incertezas tipo A, tanto do padrão quanto do instrumento sob calibração.

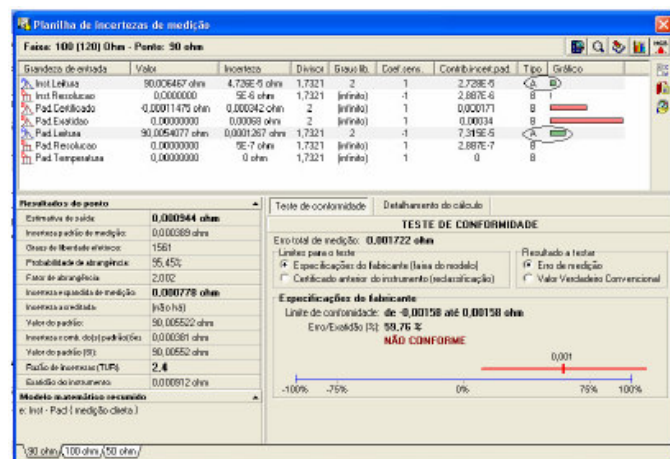


Fig. 6. Orçamento de incerteza para o ponto de 90 Ω .

A análise do Calibrador Padrão de resistência do laboratório foi realizada através da análise do histórico de calibrações do padrão. Foram analisadas 5 calibrações espaçadas de 1 ano cada uma delas do ano de 2004 até 2008.

Considerando-se as o período das 5 calibrações a tabela 4 mostra a deriva anual do Calibrador Padrão de Resistência usando-se a equação 2, mostrada a seguir. Nesta tabela também é mostrado o erro máximo admissível, fornecido pelo fabricante

$$Deriva_{m\acute{e}dia\ anual} = \frac{erro_{5^{a}calibração} - erro_{1^{a}calibração}}{4} \quad (2)$$

Tabela 4. Deriva média anual do Calibrador Padrão

Pontos Calibrados	Deriva média anual (%)	Erro máximo admissível em 1 ano (%)
1,0 Ω	-0,055	0,81
10 Ω	-0,00025	0,092
100 Ω	0,00040	0,024
1 k Ω	-0,00018	0,015
10 k Ω	-0,00018	0,015

As figuras 5, 6, 7, 8 e 9 mostram os gráficos do erro do Calibrador Padrão para os pontos de 1 Ω , 10 Ω , 100 Ω , 1k Ω e 10k Ω , respectivamente, nas cinco calibrações realizadas com um multímetro padrão de 8 ½ dígitos de referência do Laboratório de Calibração de Grandezas elétricas da ELETRONORTE. Nos gráficos das figuras 5 e 6 os valores estão na unidade miliohm ($m\Omega$), enquanto que nos gráficos das figuras 7, 8 e 9 estão na unidade ohm (Ω). As linhas em vermelho nos gráficos correspondem aos valores de erro máximo admissível especificados pelo fabricante.

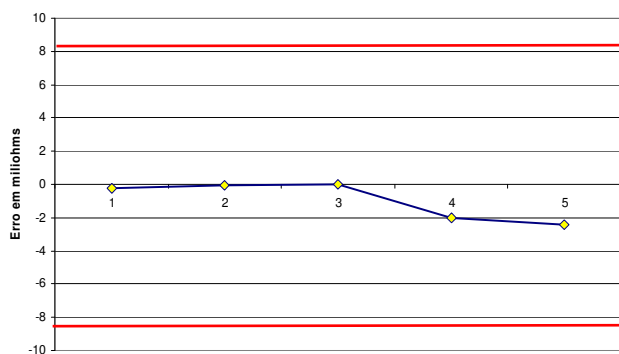


Fig. 5. Variação do erro do Calibrador Padrão no ponto de 1 Ω .

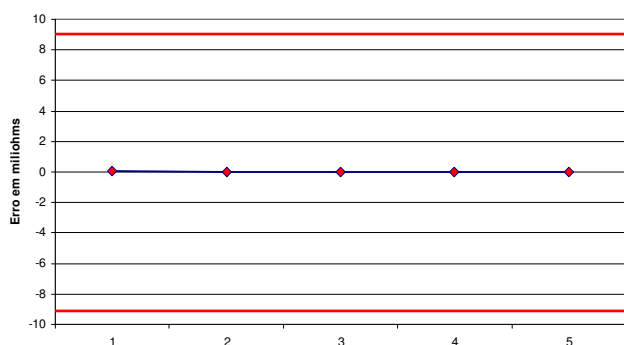


Fig. 6. Variação do erro do Calibrador Padrão no ponto de 10 Ω .

O Calibrador apresenta deriva média anual não superior a 7% do erro máximo admissível para 1 ano, no pior caso. Em um caso, esta relação chega a apenas 0,3%, ou seja, a deriva média anual não ultrapassa 0,3% do erro máximo admissível do Calibrador para 1 ano.

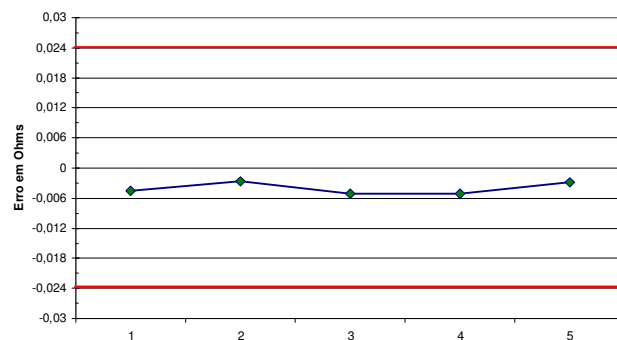


Fig. 7. Variação do erro do Calibrador Padrão no ponto de 100 Ω .

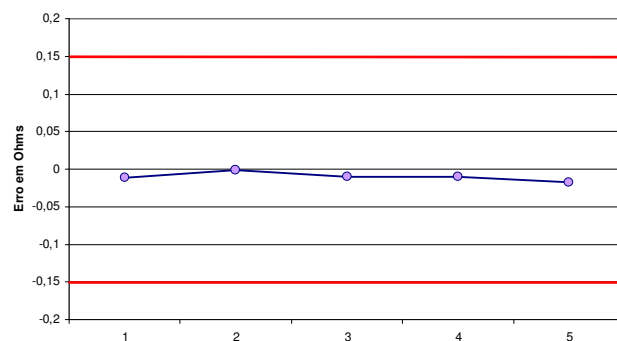


Fig. 8. Variação do erro do Calibrador Padrão no ponto de 1k Ω .

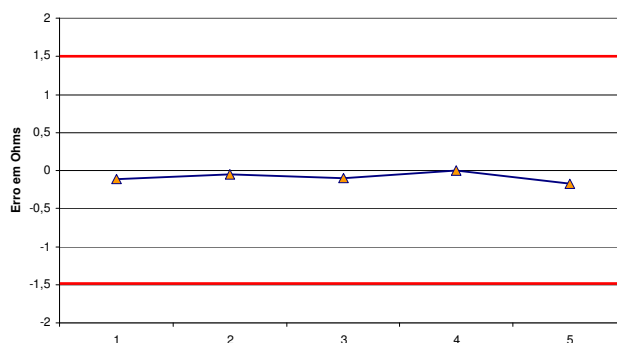


Fig. 9. Variação do erro do Calibrador Padrão no ponto de 10k Ω .

É visivelmente razoável admitir que analisando-se os gráficos de variação do erro do calibrador padrão durante as calibrações realizadas que o instrumento possui pouca variação do seu erro de medição, totalmente dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante.

Isso nos mostra que as declarações do fabricante são bastante conservadoras e que podemos considerar que o instrumento apresenta uma excelente estabilidade temporal.

4. CONCLUSÃO

A análise da estabilidade temporal dos padrões de resistência do laboratório possibilitaria encontrar-se uma nova melhor capacidade de medição nesta grandeza. A diminuição da melhor capacidade de medição pode vir a repercutir financeiramente para o laboratório com ampliação de seus clientes externos e internos (própria Eletronorte)

conseqüentemente em lucros, além de elevar o prestígio da empresa no ramo da metrologia.

Com o estudo confirmou-se que a década padrão de baixa resistência usada no laboratório de calibração de grandezas elétricas da Eletronorte não possui uma boa estabilidade temporal de curto prazo, principalmente para valores de baixa resistência. Uma provável causa da degradação da repetitividade na calibração de medidores de resistência, usando-se a década com o método de substituição é a variação dos valores de resistência da década em função do aquecimento dos resistores das mesmas.

O calibrador Padrão apresentou uma excelente estabilidade temporal, apresentando um comportamento bem superior ao declarado pelo fabricante. Com esses dados podemos afirmar com uma grande margem de segurança que o calibrador pode ter sua contribuição de incerteza referente ao seu erro máximo admissível substituída por uma contribuição bem menor referente a sua estabilidade temporal e com isso diminuir bastante sua contribuição de incerteza na calibração.

Em trabalhos futuros pode-se fazer o novo cálculo da melhor capacidade de medição, em resistência elétrica, considerando-se a contribuição de estabilidade do Calibrador padrão.

AGRADECIMENTOS

Agradecer os colaboradores e estagiários do Laboratório de Calibração de Grandezas Elétricas da ELETRONORTE pela cooperação e atendimento das solicitações para realização deste trabalho. Agradecer também aos gerentes do Centro de Tecnologia da ELETRONORTE – LACEN pelo empenho em incentivar seus colaboradores a sempre buscarem a excelência dos resultados das calibrações e ensaios realizados.

REFERENCES

- [1] C. D. Montgomery, RUNGER, C. George. Estatística Aplicada e Probabilidade Para Engenheiros. Editora LTC;
- [2] Vocabulário Internacional de Termo Gerais e Fundamentais de Metrologia. 3º edição.
- [3] Centro de Tecnologia da Eletronorte, Instrução Técnica de Calibração de Resistência – ICRE – Rev. 04.
- [4] EA-4/02 – Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, December, 1999.
- [5] A. Albertazzi G. Jr., A. R. de Sousa. “Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial”, Ed. Manole, Barueri, SP, 2008.