

CARACTERIZAÇÃO DA FAIXA DE 2,2 A AC DAS FONTES-PADRÃO DE TRABALHO DO LATCE.

Vanderson M Teixeira¹, Rodrigo Ventura², Regis P Landim³

¹ Inmetro, Rio de Janeiro, Brasil, vmteixeira@inmetro.gov.br

² Inmetro, Rio de Janeiro, Brasil, rvventura@inmetro.gov.br

³ Inmetro, Rio de Janeiro, Brasil, rplandim@inmetro.gov.br

Resumo: Este trabalho descreve a caracterização da faixa de 2,2 A de corrente alternada nas frequências compreendidas entre 1 kHz e 10 kHz, dos calibradores multifunção Fluke modelo 5720A, que são usados como fontes-padrão de trabalho para a calibração de medidores de corrente no Laboratório de Tensão e Corrente Elétrica – Latce do Inmetro.

Palavras chave: corrente alternada, calibrador, fonte, multifunção, padrão de trabalho.

1. INTRODUÇÃO

O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) é o instituto responsável pela manutenção, realização e disseminação das unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI), bem como pela guarda, preservação e rastreabilidade dos padrões nacionais das grandezas relacionadas, no Brasil. No que se refere às grandezas elétricas, estas tarefas são responsabilidade da Divisão de Metrologia Elétrica (Diele, que faz parte da Diretoria de Metrologia Científica e Industrial), através do Laboratório de Tensão e Corrente Elétrica (Latce), do Laboratório de Resistência (Lares) e do Laboratório de Capacitância e Indutância (Lacin), de acordo com a nova estrutura da Diele. Nesta nova estrutura, o Latce passará a se chamar “Laboratório de Calibração em Metrologia Elétrica-Lacme”, o Lares se chamará “Laboratório de Metrologia Elétrica Quântica-Lameq” e o Lacin se chamará “Laboratório de Metrologia em Padronização Elétrica-Lampe”. Mais detalhes sobre a nova estrutura da Diele podem ser vistos em [1].

O Latce oferece os serviços de calibração de fontes e medidores destas mesmas grandezas, sendo a grandeza de corrente alternada e a calibração de medidores nesta grandeza, o foco deste trabalho.

O escopo do Latce para este serviço, atualmente, é de 10 μ A a 20 A com incerteza de $\pm 14 \mu$ A/A até $\pm 124 \mu$ A/A na faixa de frequência de 10 Hz a 100 kHz.

A rastreabilidade do serviço de calibração de medidores de corrente alternada do Latce vem da calibração dos calibradores padrões Fluke modelo 5720A, que é feita utilizando-se o método de transferência térmica AC-DC, de acordo com o diagrama de rastreabilidade na figura 1 (que ainda está de acordo com a estrutura antiga da Diele).

Os métodos que estão relacionados ao assunto deste trabalho e que estão no diagrama de rastreabilidade da figura 1 são:

- Método por comparação direta utilizando padrões de transferência AC-DC com resistores shunt (representado por ③, na figura 1);
- Método por comparação direta (representado por ⑧, na figura 1).

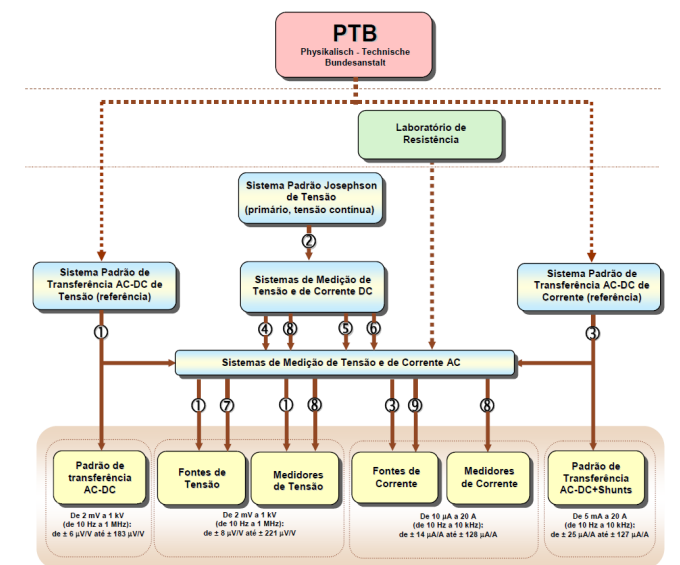


Fig. 1. Diagrama de rastreabilidade de Tensão e Corrente Alternada - Inmetro.

Naturalmente, os erros de calibração do padrão são utilizados no cálculo dos erros e incertezas do instrumento sob calibração. Como nem sempre é possível ter os erros de calibração do padrão atualizados no dia de utilização do mesmo, é necessário considerar a sua deriva, que pode ser obtida através do seu histórico de calibração. Caso este histórico não esteja disponível, deve-se utilizar as especificações do fabricante, que normalmente traz derivas maiores do que as obtidas pelo histórico.

Ao executar calibrações de calibradores na função de corrente alternada no Latce, temos observado que nos pontos de frequências acima de 1 kHz e até 10 kHz, os calibradores-padrão de trabalho apresentam um erro muito elevado, o que nos dá a indicação de que ele poderá apresentar uma deriva grande ao longo do tempo, podendo

atingir a margem de erro máxima informada no manual do fabricante em um prazo não muito longo.

Este problema pode ser contornado através da execução periódica de uma calibração por artefato do calibrador. Embora este tipo de calibração implique ajustes das constantes internas do instrumento, eliminando o seu histórico de calibração, o mesmo pode ser reconstruído a partir dos valores de antes e depois da calibração [2,3].

Este trabalho tem como objetivo mostrar a caracterização dos padrões de trabalho do Latce na faixa de corrente e intervalo de frequência citados, que são utilizados como referência para o serviço de calibração de medidores de corrente alternada para os laboratórios (acreditados) que fazem parte da Rede Brasileira de Calibração. Estes, por sua vez, executam serviços de calibração para os demais laboratórios, indústria e institutos, auxiliando o Inmetro na disseminação das unidades de tensão e corrente elétrica para todo o país, dentro de uma cadeia de rastreabilidade ao SI.

2. METODOLOGIA

Até 2008, o Latce executava a calibração por artefato dos seus padrões de trabalho (calibradores), executando uma calibração convencional dos mesmos, logo em seguida. Com isto, o histórico de calibração dos padrões era perdido. A partir de 2009, deixamos de executar as calibrações por artefato destes instrumentos, de modo a ter um histórico da calibração dos mesmos.

Com este histórico, foi possível avaliar a deriva natural dos instrumentos, ano a ano. O histórico de dois padrões de trabalho do Latce foi analisado e comparado entre si, a fim de caracterizar os padrões nas faixas de corrente e frequência objeto deste trabalho (2,2 A, entre 1 kHz e 10 kHz).

2.1. A calibração dos padrões

Para a calibração dos calibradores do Latce na função de corrente alternada acima de 25 mA até 10 kHz é utilizado o método de transferência térmica AC-DC com o seguinte circuito:

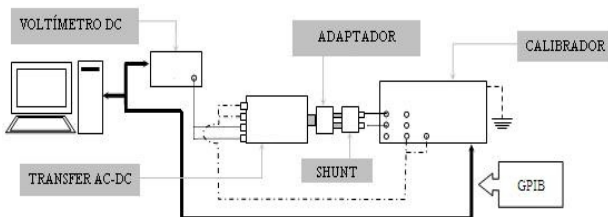


Fig. 2. Circuito utilizado para a calibração da função corrente alternada acima de 25 mA até 10 kHz

O modelo matemático relacionado à medida realizada pelo circuito acima é:

$$I_Y = r_{ac-dc} \cdot (I_{DC+} - I_{DC-}) + I_N \cdot \delta_{AC-DC} + \delta I_{DC} + \delta I_C$$

Onde: I_Y é o valor da corrente submetida à medição;

$r_{AC/DC}$ é a média de n razões entre as saídas do padrão de transferência térmica quando aplicado corrente AC e corrente DC, sendo determinada por $E_{AC} / (E_{DC+} + E_{DC-})$;

E_{AC} é o valor da tensão de saída do padrão de transferência AC-DC lido pelo voltímetro DC padrão, quando aplicado corrente alternada;

E_{DC+} e E_{DC-} são respectivamente os valores das tensões de saída do padrão de transferência AC-DC lidos pelo voltímetro DC padrão, quando aplicado corrente contínua positiva (I_{DC+}) e corrente contínua negativa (I_{DC-});

I_{DC+} e I_{DC-} são, respectivamente, os valores de referência em corrente contínua positiva e negativa da fonte sob calibração;

I_N é o valor nominal da corrente alternada aplicada pelo objeto sob calibração;

$\delta_{AC/DC}$ é a correção do padrão de transferência AC-DC de acordo com o certificado de calibração;

δI_{DC} é a correção devido à resolução da fonte sob calibração em corrente DC;

δI_C é a correção devido a cabos e conectores.

3. RESULTADO DE MEDIÇÕES

3.1. Histórico dos padrões

Foram utilizados dois calibradores Fluke 5720A para o levantamento do histórico de calibrações em corrente alternada, sendo estes os mais antigos do Latce.

As figuras 3 e 4 mostram os erros relativos dos calibradores 1 e 2, respectivamente, na faixa de corrente alternada calibrada desde 10 μ A até 2,2 A na frequência de 1 kHz. Pode-se observar que o maior erro relativo ficou abaixo de $\pm 50 \mu$ A/A (ou de $\pm 75 \mu$ A/A, considerando a incerteza), valor este no máximo 33 % (ou 55 %, considerando a incerteza) do especificado pelo fabricante (tabela 1, que apresenta o erro relativo máximo do instrumento para um nível de confiança de 95% para determinados intervalos de tempo após a última calibração por artefato).

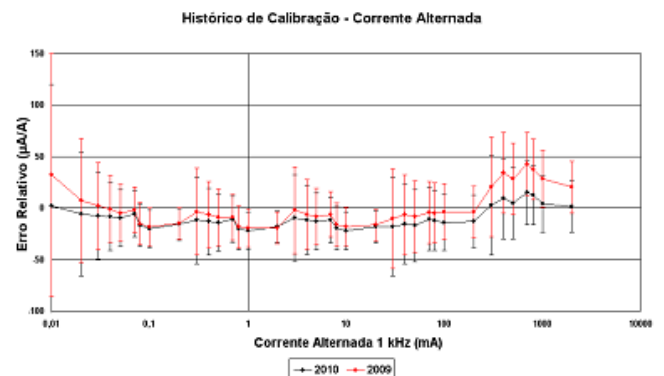


Fig. 3. Histórico dos anos de 2009 e 2010 em corrente alternada do calibrador 1

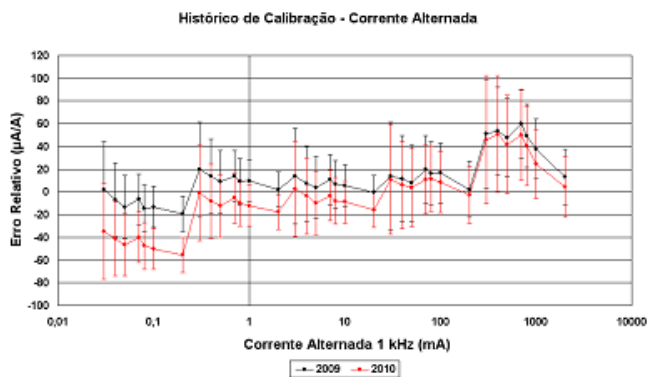


Fig. 4. Histórico dos anos de 2009 e 2010 em corrente alternada do calibrador 2

Tabela 1. Especificação do calibrador Fluke 5720A em corrente alternada, nível de confiança de 95% [3].

Range	Resolution	Frequency (Hz)	Absolute Uncertainty $\pm 5^\circ\text{C}$ from calibration temperature [1]				Relative Uncertainty $\pm 1^\circ\text{C}$	
			24 Hours	90 Days	180 Days	1 Year	24 Hours	90 Days
\pm (ppm output + nA)								
220 μA	1 nA	10 – 20	210 + 16	230 + 16	240 + 16	250 + 16	210 + 16	230 + 16
		20 – 40	130 + 10	140 + 10	150 + 10	160 + 10	110 + 10	130 + 10
		40 – 1 k	100 + 8	110 + 8	115 + 8	120 + 8	80 + 8	90 + 8
		1k – 5 k	240 + 12	250 + 12	270 + 12	280 + 12	200 + 12	230 + 12
		5k – 10 k	800 + 65	900 + 65	1000 + 65	1100 + 65	700 + 65	800 + 65
2,2 mA	10 nA	10 – 20	210 + 40	230 + 40	240 + 40	250 + 40	210 + 40	230 + 40
		20 – 40	140 + 35	140 + 35	150 + 35	160 + 35	110 + 35	130 + 35
		40 – 1 k	100 + 35	110 + 35	115 + 35	120 + 35	80 + 35	90 + 35
		1k – 5 k	170 + 110	180 + 110	190 + 110	200 + 110	200 + 110	230 + 110
		5k – 10 k	800 + 650	900 + 650	1000 + 650	1100 + 650	700 + 650	800 + 650
22 mA	100 nA	10 – 20	210 + 400	230 + 400	240 + 400	250 + 400	210 + 400	230 + 400
		20 – 40	130 + 350	140 + 350	150 + 350	160 + 350	110 + 350	130 + 350
		40 – 1 k	100 + 350	110 + 350	115 + 350	120 + 350	80 + 350	90 + 350
		1k – 5 k	170 + 550	180 + 550	190 + 550	200 + 550	200 + 550	230 + 550
		5k – 10 k	800 + 5000	900 + 5000	1000 + 5000	1100 + 5000	700 + 5000	800 + 5000
\pm (ppm output + μA)								
220 mA	1 μA	10 – 20	210 + 4	230 + 4	240 + 4	250 + 4	210 + 4	230 + 4
		20 – 40	130 + 3,5	140 + 3,5	150 + 3,5	160 + 3,5	110 + 3,5	130 + 3,5
		40 – 1 k	100 + 2,5	110 + 2,5	115 + 2,5	120 + 2,5	80 + 2,5	90 + 2,5
		1k – 5 k	170 + 3,5	180 + 3,5	190 + 3,5	200 + 3,5	200 + 3,5	230 + 3,5
		5k – 10 k	800 + 10	900 + 10	1000 + 10	1100 + 10	700 + 10	800 + 10
2,2 A	10 μA	20 – 1 k	230 + 35	240 + 35	250 + 35	260 + 35	250 + 35	300 + 35
		1 k – 5 k	350 + 80	390 + 80	420 + 80	450 + 80	400 + 80	440 + 80
		5 k – 10 k	8000 + 180	8000 + 180	8500 + 180	7000 + 180	5000 + 180	6000 + 180

Com o aumento da frequência em aproximadamente 10 vezes, os erros encontrados já não apresentam o mesmo comportamento. Segundo o manual do fabricante [3], nos pontos de frequências acima de 5 kHz e até 10 kHz, os calibradores padrões de trabalho apresentam um erro relativo muito elevado. Em particular, a faixa de 2,2 A AC de 5 kHz até 10 kHz pode chegar a uma especificação de aproximadamente 26 vezes maior do que as outras faixas nas mesmas frequências, de acordo com a tabela 1.

Na frequência de 10 kHz, apesar de ainda possuírem certa linearidade até a faixa de 0,22 A, os valores das faixas de 2,2 A possuem um erro relativo muito elevado e não acompanham o comportamento das outras faixas, como é mostrado nas figuras 5 e 6 (os pontos indicados entre 0,1 A e 1 A são 0,2 A; 0,3 A; 0,4 A; 0,5 A; 0,7 A e 0,8 A). Mesmo assim, o pior caso (ponto de 0,3 A) não chega a 20% (ou 25%, considerando a incerteza) da especificação do fabricante.

Isto mostra a importância de caracterizar a deriva de um padrão através do seu histórico, de modo a ter uma incerteza final de calibração menor do que a resultante da utilização

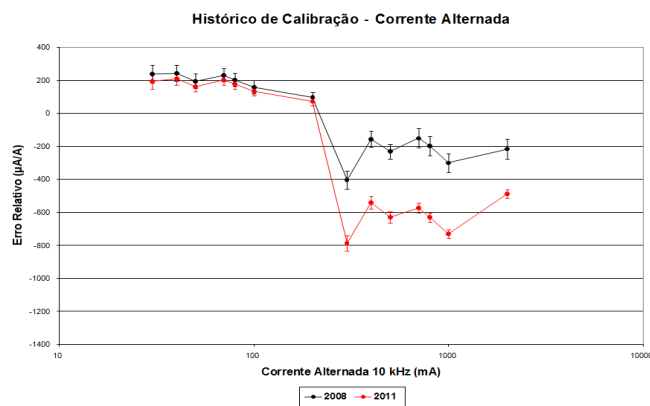


Fig. 5. Pontos calibrados nas faixas de corrente alternada na frequência de 10 kHz até 2,2A do calibrador 1

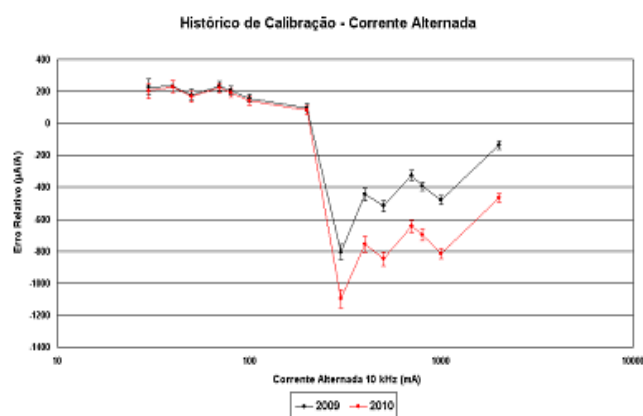


Fig. 6. Pontos calibrados nas faixas de corrente alternada na frequência de 10 kHz até 2,2A do calibrador 2

da especificação do fabricante, principalmente em altas frequências.

Estes calibradores multifunção apresentam-se muito versáteis, mas quando da utilização em faixas de trabalho que exigem muita potência de seus circuitos, especificamente as faixas de 2,2 A, nem sempre podemos contar com erros da ordem de $\pm 200 \mu\text{A/A}$.

A figura 7 mostra a comparação de um calibrador multifunção Fluke modelo 5720A com um amplificador de transcondutância da Clarke-Hess modelo 8100.

Este amplificador possui uma especificação de 0,04% para corrente DC e 0,10% de exatidão para corrente AC com faixas de operação de 2 mA até 100 A, segundo o manual do fabricante [4].

A diferença relativa mostrada no eixo y do gráfico da figura 7, é a diferença da queda de tensão nos terminais dos shunts de corrente utilizados na calibração de fontes de corrente AC, tomando como referência os valores de tensão na frequência de 1 kHz, onde consequentemente a diferença é igual a zero.

Ainda podemos observar que na faixa de 2,2 A e acima de 1 kHz os erros do calibrador multifunção comparados ao

amplificador de transcondutância são muito elevados, chegando a quase $500 \mu\text{V/V}$.

[4] “Instruction Manual – Model 8100 – Transconductance Amplifier”, Clarke-Hess Communication Corporation, 108 pp., 2010.

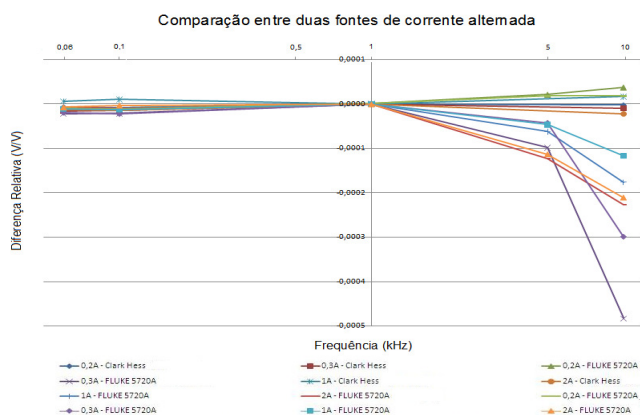


Fig. 7. Comparação entre um calibrador multifunção Fluke modelo 5720A e um amplificador de transcondutância Clarke-Hess modelo 8100A

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no estudo mostrado acima, observa-se que os erros relativos encontrados na faixa de corrente alternada de 2,2 A, em frequências maiores que 1 kHz, dos padrões de trabalho, são muito elevados e ambos possuem a mesma característica. Entretanto, ainda assim estão dentro da especificação do fabricante, que é da ordem de $\pm 7.000 \mu\text{A/A}$ e podem ser utilizados como referência para a calibração de medidores.

Normalmente, os erros máximos relativos informados pelos fabricantes dos instrumentos são bem conservadores, não sendo atingidos no cotidiano. De fato, em condições ambientais bem controladas, como no Latce (variações de temperatura em até $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ e de umidade em até $\pm 10 \%$), é comum se chegar a menos de 20% da especificação do fabricante. Assim, sempre que possível deve-se utilizar o histórico de calibração do instrumento, principalmente em altas frequências, para a composição da planilha de incertezas de calibração.

Considerando a comparação ilustrada na figura 7, em aplicações que sejam necessários menores erros para as faixas de corrente citadas acima, outros equipamentos podem ser utilizados.

REFERÊNCIAS

- [1] E. Afonso, J. R. B. da Silva, M. de F. de B. Cyrillo, M. Lira, “Uma Nova Estrutura para a Divisão de Metrologia Elétrica do Inmetro”, aceito para publicação no XVIII IMEKO TC4 Symposium e no IX Semetro, 2011.
- [2] G. Rietveld, C. V. Mullem, C. Oosterman, J. Dessens, T. Funck, P. Simonson, H. Nilsson, K.-E. Rydler, J. Jacobson, M. Ohlsson, “Artifact Calibration – An Evaluation of the Fluke 5700A Series II Calibrator”, technical report, NMI, PTB, SP, 90 pp., 1999.
- [3] “5700A/5720A Series II- Multi-Function Calibrator, Operators Manual”, Fluke Corporation, 336 pp., 2005.