



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GTM/30

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - XIII

**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES-
GTM**

UMA RADIOGRAFIA DOS LABORATÓRIOS DE ENSAIOS DE ALTA TENSÃO NO BRASIL

**Márcio Thelio Fernandes da Silva (*)
CEPEL**

**Juçara Silva Lopes
ELETROBRAS**

**Orsino Borges de Oliveira Filho
CONSULTOR**

**Luiz Carlos de Azevedo
CEPEL**

RESUMO

Este trabalho apresenta um resumo das inspeções realizadas nos laboratórios de ensaios dos maiores fornecedores de equipamentos elétricos para alta tensão no país. As inspeções tiveram como objetivo avaliar se os laboratórios dos fornecedores atendem aos requisitos mínimos necessários para a Garantia da Qualidade dos Resultados obtidos nos ensaios. O objetivo principal foi avaliar a metodologia e os resultados dos ensaios dielétricos envolvendo principalmente impulsos atmosféricos, impulsos cortados, impulsos de manobra, tensão aplicada e tensão induzida. As inspeções são consideradas necessárias e fundamentais para a garantia da conformidade dos equipamentos ensaiados, uma vez que os laboratórios dos fornecedores não são acreditados para tais ensaios com base na norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 [1].

É apresentada também nesse trabalho a estrutura metrológica e hierárquica para calibração em alta tensão e os serviços acreditados disponíveis na Rede Brasileira de Laboratórios Acreditados de Calibração (RBC) em alta tensão.

PALAVRAS-CHAVE

Ensaio em Alta Tensão, Inspeção, Conformidade, Laboratórios de Ensaio, Garantia da Qualidade dos Resultados

1.0 - INTRODUÇÃO

A isolamento elétrica é um dos pontos críticos considerados na engenharia de alta tensão e a confiabilidade dos sistemas elétricos em alta tensão depende diretamente de seu desempenho dielétrico. Sabe-se que as sobretensões temporárias em corrente alternada ou impulsivas originadas por descargas atmosféricas ou manobras, representam grande risco para a integridade dos sistemas, porque podem solicitar severamente as suas estruturas isolantes. Por isso, os ensaios prévios em alta tensão são tão necessários e importantes para minimizar o risco de falha dos equipamentos e, conseqüentemente, para a segurança operacional dos sistemas elétricos. Nesse contexto, as técnicas de ensaio em alta tensão, dentro das quais se inserem as técnicas de medição e os próprios sistemas de medição, bem como a competência dos laboratórios que os realizam, merecem atenção especial no setor elétrico.

Os Sistemas de Medição em Alta Tensão (SMAT) têm um papel fundamental para garantia da confiabilidade dos resultados dos ensaios, sobretudo os ensaios dielétricos envolvendo sobretensões, que servem como base para as conclusões no processo de avaliação de desempenho de equipamentos. De acordo com a norma IEC 60060-2/2010: "High-voltage test techniques, Part 2: Measuring systems", que tem versão ABNT NBR publicada em 2016, um SMAT deve ser calibrado periodicamente seguindo procedimentos técnicos que garantam rastreabilidade a padrões nacionais do país ou do exterior, de tal forma que forneçam medidas com incertezas dentro de limites estabelecidos.

Como parte de uma ação coordenada pela Eletrobras no âmbito de suas Empresas, denominada Programa de Avaliação de Laboratórios de Fornecedores, foi realizado um trabalho pioneiro no Brasil que consistiu em inspecionar tecnicamente as condições operacionais dos laboratórios de ensaios dos maiores fornecedores de equipamentos elétricos de alta tensão no país. Estas inspeções nos laboratórios foram sempre acompanhadas pelos inspetores de ensaios das Empresas Eletrobras e programadas de acordo com os contratos vigentes de fornecimento dos equipamentos para cada Empresa. No caso desse trabalho, as inspeções ocorreram no período de julho de 2013 a março de 2015 e tiveram como foco principal os ensaios dielétricos envolvendo impulsos atmosféricos, impulsos cortados, impulsos de manobra, tensão aplicada e tensão induzida. Ainda diante da importância das medições nos ensaios, foi priorizado verificar se os SMAT e os procedimentos utilizados atendiam plenamente aos requisitos das normas nacionais aplicáveis à medição em Alta Tensão. A conformidade com esses requisitos é condição imprescindível para assegurar a qualidade e a integridade dos resultados.

Um dos pontos chaves para garantir a confiabilidade dos resultados dos ensaios é a calibração periódica dos SMAT, que deve ser realizada de acordo com procedimentos técnicos que garantam a rastreabilidade desses Sistemas a padrões nacionais ou internacionais. Esse aspecto norteou as inspeções para a avaliação dos SMAT e instrumentos utilizados em ensaios nos laboratórios de alta tensão dos fornecedores de equipamentos elétricos, visando o alinhamento com a sistemática de garantia da qualidade dos resultados e o atendimento aos requisitos das normas ABNT NBR IEC 60060-1/2013 [2], ABNT NBR IEC 60060-2/2016 [3] e ABNT NBR ISO/IEC 17025 [1], além de contribuir também para uma padronização das metodologias de inspeção.

Para a implementação adequada no Brasil da ABNT NBR IEC 60060-2/2016 é necessário que o país tenha uma estrutura metrológica em alta tensão com laboratórios de calibração acreditados em número suficiente para atender aos laboratórios industriais e a todos os laboratórios de ensaios instalados no país. Este aspecto também foi analisado durante este trabalho.

2.0 - ESTRUTURA METROLÓGICA EM ALTA TENSÃO NO BRASIL

O Inmetro é o Instituto Nacional de Metrologia - INM brasileiro reconhecido pelo BIPM – “Bureau International des Poids et Mesures” para calibração de sistemas de medição de alta tensão em corrente contínua (CC) e em corrente alternada (CA). Alguns laboratórios no país são acreditados ou estão em fase de acreditação pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre), para ensaios em AT ou para calibração de SMAT [4].

Os fornecedores renomados de equipamentos elétricos de alta tensão com unidades no Brasil, assim como as grandes empresas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, bem como instituições de ensino, pesquisa e serviços tecnológicos, também possuem seus próprios laboratórios de ensaios em alta tensão. Todos os laboratórios possuem pelo menos um SMAT conceitualmente formado pelos componentes básicos apresentados na Figura 1. O programa computacional utilizado para se obter os valores medidos também deve ser considerado parte integrante do SMAT.

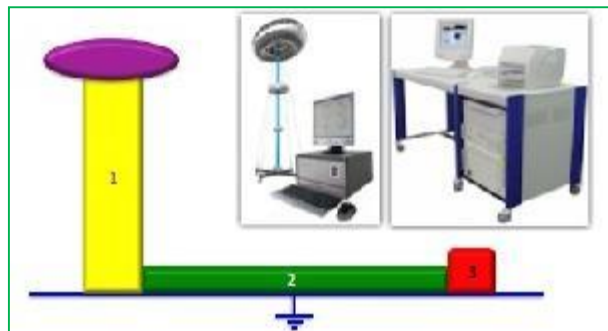


FIGURA 1 – Componentes básicos de um SMAT.

1 - Dispositivo de conversão (Divisor de tensão, TP, R Shunt, TC), 2 - Sistema de transmissão de sinal (Cabo coaxial, Fibra ótica), 3 - Instrumento (Osciloscópio, Digitalizadores, Multímetro).

Os laboratórios de alta tensão do país, mesmo os não acreditados, para que forneçam resultados confiáveis, devem manter os seus Sistemas de Medição calibrados por meio de procedimentos tecnicamente reconhecidos por equipes ou instituições especializadas em metrologia em Alta Tensão, tais como os procedimentos prescritos na ABNT NBR IEC 60060-2/2016 [3], que incluem procedimento específico para estimativa de incertezas e respectivos requisitos exigidos.

Há, portanto, no Brasil centenas de SMAT que precisam ter seus desempenhos metrológicos avaliados periodicamente e, segundo a ABNT NBR IEC 60060-2/2016 [3], essa avaliação deve ser feita por laboratórios acreditados para essa atividade ou que tenham sistemas de medição rastreados a padrões nacionais.

Os sistemas de medição têm um papel fundamental para confiança nos resultados dos ensaios em alta tensão que servem como base para conclusões na avaliação de desempenho de equipamentos. Esses ensaios incluem, fundamentalmente, os que avaliam a suportabilidade dos seus sistemas isolantes diante de sobretensões.

Especificamente em relação a suportabilidade dielétrica a impulsos de tensão, a norma ABNT NBR IEC 60060-1 (versão brasileira da IEC 60060-1/2010) incluiu a função tensão de ensaio $k(f)$ na sua publicação em 2013, que é um importante parâmetro na definição da tensão aplicada ao objeto sob ensaio, e que está associada ao desempenho dos equipamentos quando submetidos a impulsos atmosféricos plenos e cortados na cauda. Para entendimento da nova função $k(f)$, as seguintes formas de onda são apresentadas na Figura 2: registrada do impulso, a curva base, a curva residual, a curva residual filtrada e a forma de onda da tensão de ensaio.

A função $k(f)$ atua como um filtro digital aplicado na curva residual que é a diferença entre a curva registrada e a curva base (sem oscilação). A curva residual filtrada é adicionada à curva base onde então são medidos os parâmetros de amplitude e tempos do impulso.

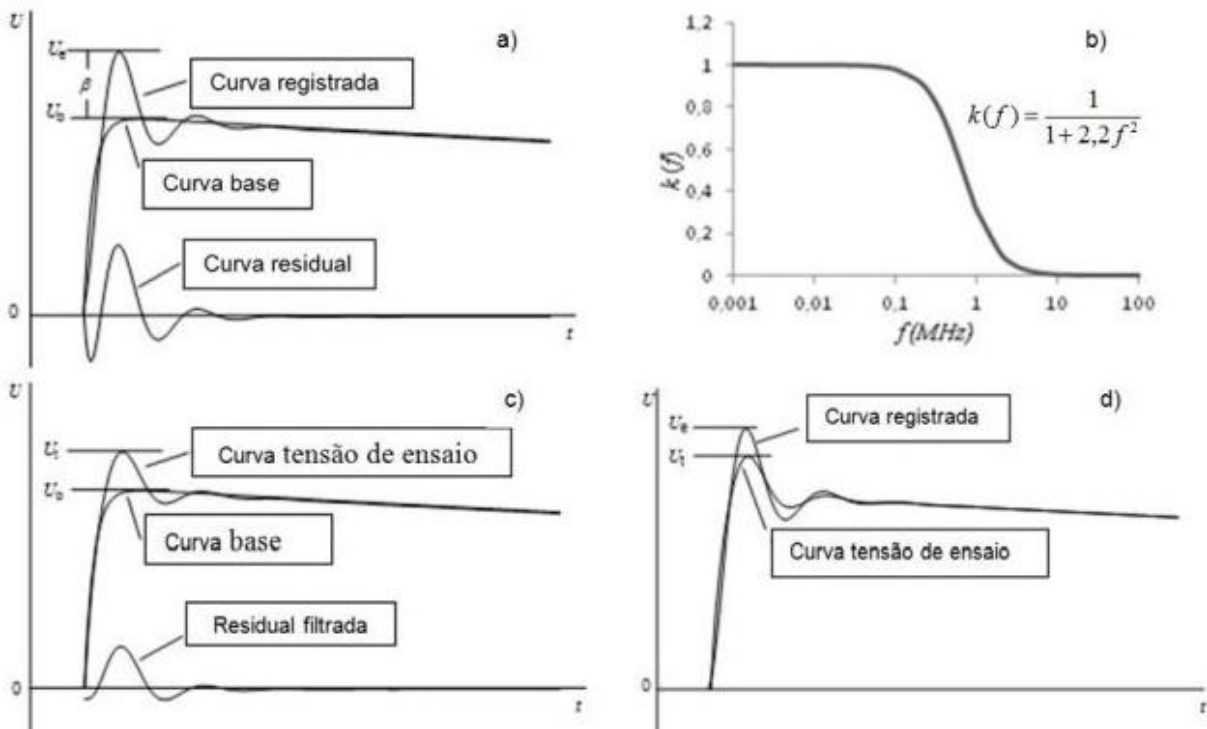


FIGURA 2 – Formas de onda de um impulso atmosférico pleno mostrando a função $k(f)$. a) Curva registrada, curva base e curva residual. b) Função tensão de ensaio $k(f)$. c) Curva tensão de ensaio, curva base e residual filtrada. d) Curva registrada e curva da tensão de ensaio.

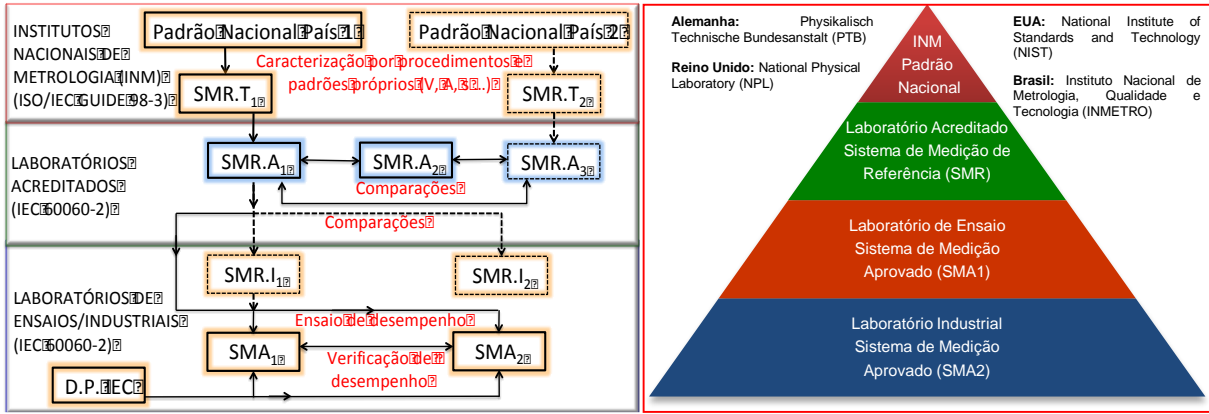
2.1 Estrutura hierárquica para calibração e rastreabilidade em AT

Na Figura 3(a) é apresentada a estrutura a ser seguida para calibração de SMAT, baseada na ABNT NBR IEC 60060-2/2016 [3], que resulta na hierarquia de rastreabilidade apresentada na Figura 3(b), sendo os níveis hierárquicos associados às incertezas dentro do universo laboratorial.

Os INM possuem em sua infraestrutura os Padrões Nacionais das grandezas, os quais servem para caracterizar, por meio de procedimentos próprios, os Sistemas de Medição de Referência de Transferência (SMR.T), que são os sistemas que estão no topo da cadeia de rastreabilidade, por conta de suas menores incertezas.

Os Laboratórios Acreditados possuem os Sistemas de Medição de Referência Acreditados (SMR.A) que devem, em princípio, ser calibrados pelos INM e, nesse caso, são rastreados diretamente aos SMR.T, ficando um nível abaixo em termos de incerteza de medição.

Os Laboratórios de Ensaio e os Industriais possuem os Sistemas de Medição de Referência Industriais (SMR.I) que devem, em princípio, ser calibrados pelos Laboratórios Acreditados e, nesse caso, são rastreados diretamente aos SMR.A, ficando um nível abaixo em termos de incerteza de medição. Os sistemas de medição utilizados nos ensaios são chamados de Sistemas de Medição Aprovados (SMA) e podem ser calibrados tanto internamente no próprio Laboratório pelos seus SMR.I, resultando em incerteza maior, quanto pelos Laboratórios Acreditados, por meio dos SMR.A, resultando em incerteza menor.



3(a) Estrutura de rastreabilidade 3(b) Hierarquia de acordo com incertezas
 FIGURA 3 – Estrutura hierárquica para calibração e rastreabilidade em Alta Tensão. SMR – Sistema de Medição de Referência, T – Transferência, A – Acreditado, I – Industrial, SMA – Sistema de Medição Aprovado, D.P.IEC – Dispositivo Padronizado pela IEC (Centelhador padrão)

2.2 Requisitos para incerteza de SMAT

Os requisitos para incerteza de SMAT para os diferentes tipos de tensão são os apresentados na Tabela 1. Para um Sistema de Medição de Referência de Transferência (SMR.T), o requisito é que a sua incerteza seja menor ou igual a metade da incerteza do respectivo SMR mostrada na Tabela 1.

TABELA 1 – Requisitos para incerteza de SMAT.

Tipo de Tensão de Ensaio	Grandeza	SMR (%)	SMA (%)
Tensão Contínua (CC)	Valor médio	1	3
Tensão Alternada (CA)	Valor Pico/ $\sqrt{2}$	1	3
Impulso atmosférico de tensão pleno ou cortado na cauda	Tensão de ensaio (U_t)	1	3
	Tempo de frente (T_1)	5	10
	Tempo de corte (T_c)	5	10
Impulso atmosférico de tensão cortado na frente	Tensão de ensaio (U_t)	3	5
	Tempo de corte (T_c)	5	10
Impulso de manobra	Tensão de ensaio (U_t)	1	3
	Tempo até o pico (T_p)	5	10
	Tempo até o meio valor (T_2)	5	10
Impulso de corrente (Exponencial e retangular)	Valor de pico	-	3
	Parâmetros de tempo	-	10

Nas Tabelas 2, 3 e 4 são apresentados os laboratórios ou instituições com as faixas e incertezas dos serviços acreditados na RBC até agosto de 2016, referentes ao medidor de tensão em corrente contínua (CC), medidor de tensão em corrente alternada (CA) e parâmetros de tensão de impulso atmosférico, respectivamente.

TABELA 2 – Laboratórios acreditados para medidor de tensão CC.

Instituição	Faixa de aplicação	Incerteza (U)
CEPEL	2 kV a < 10 kV	0,10%
	10 kV a 180 kV	0,55%
IEE/USP	>1 kV a 100 kV	0,004%
Lab. MEC-Q	± 1 kV a ± 10 kV	0,012%
	- 10 kV a - 20 kV	0,0050%
IPT	-1 kV a - 10 kV	0,016%
	-10 kV a - 100 kV	0,013%
GERO	-1 kV a - 40 kV	0,7%

TABELA 3 – Laboratórios acreditados para medidor de tensão CA.

Instituição	Faixa de aplicação	Incerteza (U)
CEPEL	2 kV a < 10 kV	0,15%
	10 kV a 180 kV	0,51%
IPT	1 kV a 100 kV	0,12%
IEE/USP	1 kV a 120 kV	0,03%
LABELO/PUCRS	1,1 kV a 12 kV	0,34%
Lab. MEC-Q	0,7 kV a 50 kV	0,060%
SETTING	1 kV a 40 kV	2,9%
GERO	1 kV a 28 kV	3,5%

TABELA 4 – Laboratório acreditado para medidor de parâmetros de tensão de impulso atmosférico.

Instituição	Aplicação	Faixa de aplicação	Incerteza (U)
CEPEL	IAP (1,2 / 50 μ s)	100 kV a 400 kV	0,60%
		500 kV	0,89%
	IAC ($T_c = 3 \mu$ s)	100 kV a 400 kV	0,57%
		500 kV	0,84%
	IAC ($T_c = 0,5 \mu$ s)	100 kV a 500 kV	1,5%

NOTA 1: De acordo com a norma ABNT NBR IEC 60060-2 um SMR para tensão na faixa de 100 kV a 500 kV pode calibrar outros SMA para impulsos na faixa de 20 kV até 2,5 MV.

NOTA 2: Os dados apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4 foram obtidos do Link [Http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rbc](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rbc).

3.0 - INSPEÇÕES REALIZADAS NOS FORNECEDORES

Durante as inspeções realizadas foram acompanhados ensaios de alta tensão com o objetivo de verificar, em conjunto com o fornecedor, a adequação dos Sistemas de Medição aos requisitos técnicos requeridos pela ABNT NBR IEC 60060-2, no sentido de garantir a integridade dos resultados e, conseqüentemente, a avaliação correta do item sob ensaio.

São apresentados abaixo os equipamentos destinados à Chesf, Eletronuclear e Eletronorte, cujos fornecedores fizeram parte das inspeções.

- ✓ Autotransformador 1 ϕ de 550 kV / 100 MVA com fornecimento para a SE Teresina II da Chesf.
- ✓ Transformador de potência 3 ϕ de 230/69/13,8 kV - 150 MVA com fornecimento para a SE Pindaí da Chesf.
- ✓ Transformador elevador 1 ϕ de 312/416/520 MVA; 525/ $\sqrt{3}$ – 25 kV com fornecimento para a usina nuclear de Angra 3 em Angra dos Reis – RJ.
- ✓ Transformador de potência 3 ϕ de 245 kV / 200 MVA – 245/72,5/13,8 kV com fornecimento para a SE Vila do Conde/PA.

Os ensaios dielétricos normalizados que tiveram os SMAT avaliados durante as inspeções são descritos abaixo:

- ✓ Impulso atmosférico pleno e cortado (IAP / IAC); com avaliação da corrente de impulso;
- ✓ Impulso de manobra (IM);
- ✓ Tensão aplicada (ATCA);
- ✓ Tensão induzida.

3.1 Especificação dos fornecimentos para os equipamentos de alta tensão

As especificações das empresas foram avaliadas conforme cada equipamento e com prévia antecedência. Nesta avaliação foram observadas as seguintes considerações:

- As especificações técnicas de todas as empresas para fornecimento dos transformadores fazem referência à norma para ensaios em transformadores NBR 5356. As normas NBR 5356-3 e NBR 5356-4 fazem referências às normas ABNT NBR 6936:1992, ABNT NBR 6937:1981 e ABNT NBR 6938:1981, entre outras. Sendo que os requisitos para aprovação de um SMAT utilizado em ensaios como descritos nas normas ABNT NBR 6937 e ABNT NBR 6938 estão obsoletos.
- As especificações não fazem referência às normas IEC 60060-1/2010 “High-voltage test techniques, Part 1: General definitions and test requirements”, IEC 60060-2/2010: “High-voltage test techniques, Part 2: Measuring systems” e IEC 62475/2010 “High-current test techniques: Definitions and requirements for test currents and measuring systems”.

3.2 Itens inspecionados nos laboratórios de ensaios

Para as inspeções dos laboratórios de alta tensão foram definidos e verificados alguns itens normatizados descritos a seguir:

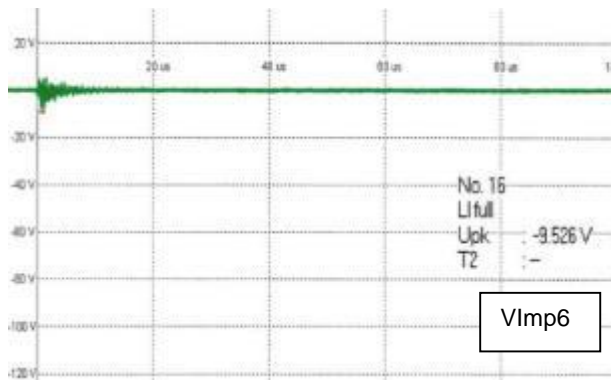
- ✓ Certificados de calibração dos instrumentos e sistemas de medição;
- ✓ Circuitos elétricos e arranjos de ensaios;
- ✓ Rastreabilidade dos instrumentos e SMAT;
- ✓ Periodicidade entre calibrações;
- ✓ Normas e/ou procedimentos de ensaios;
- ✓ Nível de interferência no sinal;
- ✓ Incertezas de medição dos SMAT.

3.3 Não conformidades dos SMAT

As observações identificadas em todos os laboratórios de ensaios em alta tensão associadas a pontos em desacordo com as normas foram denominadas de Não Conformidades - NC e agrupadas por aplicação de cada SMAT.

3.3.1 NC constatadas para os SMAT utilizados para impulsos

- VImp1 – Os SMAT não estão calibrados conforme descreve a norma ABNT NBR IEC 60060-2, ou seja, preferencialmente por comparação contra um Sistema de Medição de Referência (SMR);
- VImp2 – Os canais do digitalizador foram calibrados somente para as formas de onda de IAP e IAC ($T_c=5,0 \mu s$). Não foi evidenciada a calibração dos canais com a forma de onda normalizada de Impulso de manobra ($250 / 2500 \mu s$);
- VImp3 – Os laboratórios não declaram as incertezas dos SMAT completos (Divisor de tensão + cabo de transmissão do sinal + instrumento);
- VImp4 – Não foi evidenciada a calibração do software do digitalizador de acordo com a norma IEC 61083-2 “Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests – Part 2: Evaluation of software used for the determination of the parameters of impulse waveforms” [5].
- VImp5 – Os canais do digitalizador estão calibrados, entretanto o que foi utilizado nos ensaios não pertence ao fornecedor (NC referente a norma ABNT ISO/IEC 17025);
- VImp6 – O nível de interferência na amplitude de impulsos foi da ordem de 1,7%, sendo o limite normalizado de até 1%; (ver Figura 4a)
- VImp7 – A utilização do SMAT não está de acordo com a descrição do certificado de calibração, ou seja, calibrado com cabo coaxial de 20 m e utilizado no laboratório com 100 m. Utilizando as unidades secundárias do próprio divisor foi evidenciado um erro de 2,7% na amplitude dependendo da capacitância utilizada em conjunto com o aumento do cabo coaxial de medição; (ver Figura 4a)
- VImp8 – Os canais do digitalizador estão fora de prazo aceitável para calibração (última calibração em 2009);
- VImp9 – Utilização do SMAT com resistor de amortecimento (R_d) danificado com um dos enrolamentos queimados (ver Figura 4b)
- VImp10 – A periodicidade encontrada entre calibrações dos instrumentos e SMAT varia de 1 até 10 anos. A periodicidade recomendada por norma é anual, mas pode ser estendida até 5 anos nos casos onde seja comprovada a estabilidade do Fator de Escala - FE de acordo com a norma ABNT NBR IEC 60060-2;
- VImp11 – Uso tecnicamente inadequado de componentes no arranjo de ensaio em série com o SMAT que não estão descritos nos certificados e que também não foram avaliados na calibração do SMAT (ver Figura 4b).



Interferência no ensaio de impulso de 1,7%.

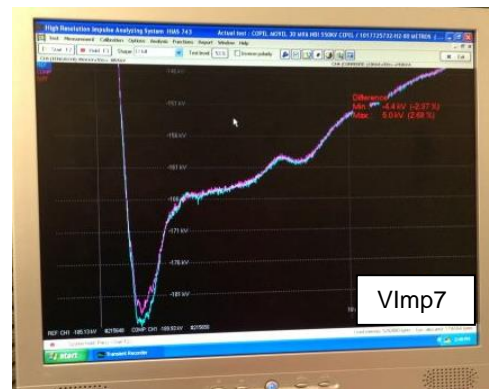


FIGURA 4(a) – Evidências das não conformidades referentes aos itens VImp6 e VImp7.

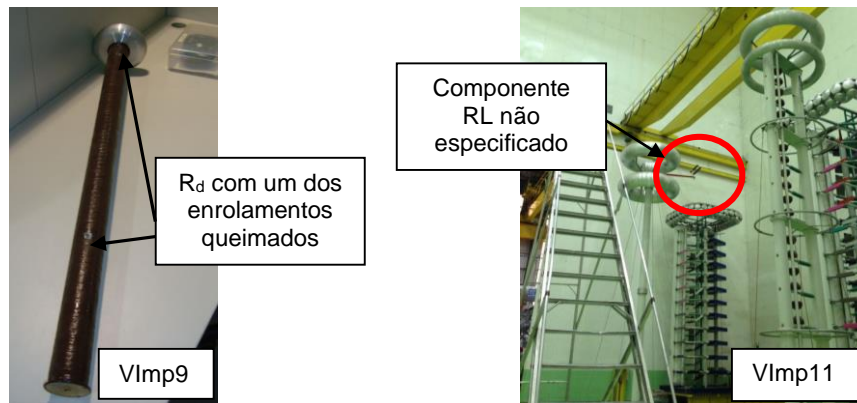


FIGURA 4(b) – Evidências das não conformidades referentes aos itens VImp9 e VImp11.

3.3.2 NC constatadas para os SMAT utilizados para correntes de impulsos

IImp1 – A avaliação do comportamento dinâmico do sistema de medição completo para corrente de impulso deve ser realizada de acordo com o item 11 da norma IEC 62475/2010 “High-current test techniques: Definitions and requirements for test currents and measuring systems” [6].

3.3.3 NC constatadas para os SMAT utilizados para ATCA

- VCA1 – Os SMAT não estão calibrados conforme descreve a norma ABNT NBR IEC 60060-2, ou seja, preferencialmente por comparação contra um Sistema de Medição de Referência (SMR);
- VCA2 – O SMAT não foi avaliado em termos de sua resposta em frequência. O ensaio de tensão induzida no laboratório foi realizado nas frequências de 120 até 240 Hz. De acordo com a norma ABNT NBR IEC 60060-2 a resposta em frequência do divisor de tensão deve ser verificada na faixa de f_{nom} até 7 (sete) vezes a frequência fundamental;
- VCA3 – Os laboratórios não informam as incertezas do sistema de medição completo;
- VCA4 – Na calibração dos TC’s e TP’s foram utilizados alguns padrões com sua última calibração em 1996 como é o caso do Divisor Eletrônico Padrão, e em 2001 no caso do Comparador para TP/TC. O Laboratório deve avaliar se esses padrões, utilizados e calibrados há mais de 10 anos, podem comprometer os resultados dos ensaios;
- VCA5 – O Kilovoltmetro digital utilizado no ensaio apresenta em sua calibração desvios significativos (-2% até -16%) que se não observados podem comprometer o resultado da tensão aplicada ao objeto;
- VCA6 – O divisor não foi avaliado em termos de sua resposta em frequência. O ensaio de tensão aplicada é realizado na frequência fundamental de 60 Hz. De acordo com a norma IEC 60060-2 deve ser verificada a resposta em frequência do divisor na faixa de 60 Hz até 420 Hz;
- VCA7 – No SMAT foi utilizado indevidamente o resistor de amortecimento na AT e de casamento na BT. O SMAT é utilizado com $R_d = 150 \Omega$ (resistor de amortecimento) e $R_a = 564 \Omega$ (resistor de casamento). Para ensaio com tensão aplicada não é necessário o uso de R_d e R_a . Normalmente o casamento do cabo coaxial só é aplicado em casos de sinais de alta frequência e de impulsos, neste caso o cabo de medição deve ser terminado com o mesmo valor da impedância do cabo que o sinal viajou (por exemplo: 50Ω ou 75Ω);
- VCA8 – Não foram observadas no certificado de calibração, como também no instrumento, as recomendações necessárias para o uso correto do instrumento;
- VCA9 – Na maior parte dos certificados avaliados foi colocado um carimbo da empresa aprovando o instrumento para uso, mas não foram evidenciadas as especificações mínimas para aprovação desses instrumentos e ou sistemas de medição.

4.0 - DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A CONFORMIDADE DOS ENSAIOS

Partindo do pressuposto que os fabricantes projetam e constroem adequadamente equipamentos para alta tensão, com estruturas isolantes compatíveis com seus respectivos Níveis Básicos de Isolamento – NBI, é de se esperar um desempenho satisfatório nos ensaios dielétricos previstos em normas ou especificações técnicas previamente acordadas. A execução tecnicamente correta dos ensaios por meio de procedimentos e infraestruturas adequadas é, portanto, de grande responsabilidade e, por isso, entende-se que o padrão de qualidade do processo produtivo deve incluir também o atendimento aos requisitos requeridos para os laboratórios de ensaios em alta tensão.

Para garantir a confiabilidade dos resultados é necessário que os SMAT sejam calibrados periodicamente, seguindo procedimentos normatizados e que forneçam medidas com incertezas dentro de limites estabelecidos.

Ensaio dielétricos realizados com critérios metrológicos podem significar uma redução dos custos de produção, uma maior competitividade e melhora na credibilidade. Um exemplo do aumento do custo de produção foi evidenciado uma falha em um dos transformadores durante uma das inspeções para o ensaio de impulso atmosférico.

De todos os laboratórios acreditados na RBC descritos nas Tabelas 2 e 3, somente um utiliza as normas ABNT NBR IEC 60060-1 e ABNT NBR IEC 60060-2 para calibração de SMAT. Utilizar a norma ABNT NBR IEC 60060-2 é importante e fundamental para assegurar a adequação dos SMAT, pois são avaliados além do Fator de Escala (FE) as incertezas do SMAT, a estabilidade de curto/médio/longo prazo, linearidade, desempenho dinâmico, efeito da proximidade, efeito da temperatura, efeito do software e a imunidade a interferência eletromagnética.

O número de laboratórios acreditados atualmente para calibração em AT na RBC é considerado insuficiente para a implementação adequada no Brasil da ABNT NBR IEC 60060-2/2016 e, conseqüentemente, pode impactar negativamente a confiabilidade dos ensaios em alta tensão no país. Considera-se positivo para contornar essa deficiência que as empresas usuárias aumentem as exigências, por meio de melhoria nas especificações técnicas, quanto ao cumprimento dos requisitos normatizados para os SMAT utilizados nos ensaios. Essa prática tecnicamente fundamentada no mercado de equipamentos de alta tensão, e respectivos serviços técnicos de ensaios, poderia fortalecer a necessidade de se ter no país uma cadeia formada pelos laboratórios de ensaios, que demandariam assim mais serviços de calibração de SMAT, e os próprios laboratórios de calibração, que seriam acreditados ou com capacidade técnica demonstrada e competências suficientes para realizar calibrações de acordo com a ABNT NBR IEC-60060-2/2016.

5.0 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante de um número considerável de não conformidades constatadas nos laboratórios de ensaios dos fornecedores, que também utilizam algumas sistemáticas próprias tecnicamente inadequadas e com grande potencial de gerarem dúvidas nos resultados dos ensaios, e conseqüentemente comprometer a aprovação do item sob ensaio, recomenda-se aos inspetores atenção especial para minimizar as chances de que equipamentos sejam indevidamente considerados aprovados nos ensaios.

Seguem algumas recomendações tanto para os fabricantes quanto para os profissionais que trabalham na especificação e inspeção dos equipamentos para alta tensão.

- Além dos ensaios dielétricos atenderem a norma ABNT NBR IEC 60060-1/2013 e, quando aplicável, normas específicas do equipamento, incluir na especificação técnica que:
 - todos os SMAT utilizados nos ensaios de alta tensão atendam aos requisitos técnicos da norma ABNT NBR IEC 60060-2/2016, para medição de tensão, e a IEC 62475/2010, para corrente nos ensaios de impulso de tensão, incluindo os requisitos referentes à calibração e incerteza,
- Que os Laboratórios de ensaio em alta tensão dos fornecedores mantenham os SMAT calibrados periodicamente de acordo com as normas atuais.

6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT NBR ISO/IEC 17025/2005 - Requisitos Gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração;
- [2] ABNT NBR IEC 60060-1/2013 “Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão, Parte 1: Definições gerais e requisitos de ensaio”;
- [3] ABNT NBR IEC 60060-2/2016 - Técnicas de ensaios elétricos de alta-tensão Parte 2: Sistemas de medição.
- [4] CALIBRAÇÃO E RASTREABILIDADE DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO EM ALTA TENSÃO, O. B. Oliveira Filho; M. T. F. da Silva; L. C. de Azevedo; P. C. O. Vitorio; L. A. A. de Souza (II CMDT Colóquio Sobre Materiais Dielétricos e Técnicas Emergentes de Ensaio e Diagnósticos (CE D1) Curitiba-PR, Brasil 26 e 27 de setembro de 2016);
- [5] IEC 61083-2/2013 “Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests – Part 2: Evaluation of software used for the determination of the parameters of impulse waveforms”;
- [6] IEC 62475/2010 “High-current test techniques: Definitions and requirements for test currents and measuring systems”.

7.0 – DADOS BIOGRÁFICOS

- Márcio Thelio Fernandes da Silva
- Rio de Janeiro, 1965
- PUC-Rio, Engenheiro Eletricista com Mestrado em Metrologia pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio, 2011
- O autor possui mais de 30 anos de experiência em laboratórios de ensaio/calibração em alta tensão e corrente com diversos artigos publicados em seminários nacionais e internacionais. Trabalha também com normalização e concepção de novos dispositivos de medição e metodologias de ensaio para alta tensão. Atualmente trabalhando em conjunto com o grupo de estudos do Cigré D1.60 “Traceable measurement techniques for very fast transients” especificamente na “Comparação de Sistemas de Medição para Ensaio em Perfuração de Isoladores”.

