

Framework para verificação da conformidade de analisadores da qualidade da energia elétrica com a norma IEC 62586-2

Sibele Borges Tolentino¹, Renê Augusto Benvenuti², Diego Hansen Hahn³, Javier Aprea⁴
IMS Power Quality, Av Bernardino Silveira Pastoriza, 720, Sarandi - Porto Alegre, RS
{sibele.tolentino¹, rene.benvenuti², diego.hahn³, javier.aprea⁴}@ims.ind.br

Resumo—Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um *framework* automático de testes, cujo objetivo é verificar a conformidade de analisadores da qualidade da energia elétrica (QEE) com os requisitos da norma IEC 61000-4-30 [1] classe A. O *framework* implementa os testes definidos na norma IEC 62586-2 [2]. São comparadas três diferentes fontes de referência, duas trifásicas e uma monofásica, onde são expostas as limitações de cada uma destas para testes específicos. Aborda-se questões de interpretação da norma IEC 62586-2 e particularidades da aplicação dos testes em analisadores.

Palavras-chave—IEC 62586-2, qualidade da energia elétrica, conformidade, verificação, *framework*

I. INTRODUÇÃO

De acordo com [3], define-se QEE como sendo a conformidade da tensão em regime permanente e a minimização das perturbações, variações de amplitude, fase ou frequência, que possam descaracterizar a forma de onda disponível no ponto de entrega. Dentre os fenômenos conhecidos, se pode citar os afundamentos e as elevações de tensão, a distorção harmônica, a flutuação de tensão, o desequilíbrio de tensão e as variações da frequência da rede. A quantificação da qualidade da energia elétrica fornecida é dada através de indicadores. Os limiares máximos aceitáveis para cada indicador, no Brasil, estão disponíveis em [3].

A medição e registro dos parâmetros de qualidade, o cálculo dos indicadores e a verificação dos limiares são feitos através de equipamentos e software analisadores da qualidade da energia elétrica. Para garantir a confiabilidade dos dados coletados, esses equipamentos devem ser desenvolvidos seguindo normas nacionais e internacionais que padronizam os protocolos e algoritmos de medição. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publica no Procedimento da Distribuição (PRODIST) [3], após consulta pública a concessionárias e fabricantes, os requisitos necessários para que os analisadores da qualidade da energia elétrica estejam conforme as necessidades do setor elétrico nacional. O PRODIST faz referência às normas internacionais IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15 e, IEC 61000-4-30 para definição da medição das grandezas e perturbações.

Os autores gostariam de agradecer aos seus colegas na IMS Power Quality, e a Universidade de Brasília (UnB), em especial ao Prof. Dr. Anésio de Leles Ferreira Filho, pela gentileza em ceder tempo de laboratório e instrumentos.

A IMS Power Quality está desenvolvendo um analisador da qualidade da energia elétrica[4], seguindo as especificações impostas a equipamentos classificados como IEC 61000-4-30 classe A. Contudo, apesar de estabelecer a metodologia de medição e interpretação de indicadores, a norma nacional ainda não especifica um protocolo de teste para verificar a conformidade dos analisadores da energia elétrica, disponíveis no mercado brasileiro, que atenda a classe A da norma IEC 61000-4-30, e embora a IMS Power Quality tenha um equipamento indicado pela ONS [5], que passou por todos os testes do Caderno de Ensaio para Certificação de Instrumento de Medição para as Campanhas de Medição de QEE [6], esses ensaios requerem critérios de aceitação mais flexíveis, em comparação à IEC 61000-4-30 classe A. Para suprir essa lacuna, utilizou-se como referência, durante o desenvolvimento, o caderno de testes proposto na IEC 62586-2, de modo a garantir a qualidade e conformidade do equipamento em desenvolvimento [7].

Dando continuidade ao desenvolvimento realizado em [8], este trabalho apresenta um *framework* de testes aplicando a metodologia da norma IEC 62586-2 na verificação da conformidade de um analisador da qualidade da energia elétrica IEC 61000-4-30 classe A. No decorrer deste trabalho serão apresentados alguns aspectos relevantes sobre as dificuldades encontradas na escolha das fontes de referência, na implementação de alguns testes e alguns resultados práticos.

II. DESENVOLVIMENTO

Considerando o Modelo V [9] de desenvolvimento de produto, adotado pela IMS Power Quality, onde pressupõe-se a verificação dos requisitos em cada etapa do desenvolvimento, foi iniciada a construção do *framework* automático de testes que contempla a IEC 62586-2, em paralelo com o desenvolvimento do analisador da qualidade da energia elétrica. Estes testes objetivam garantir a futura certificação do equipamento conforme a classe A da norma IEC 61000-4-30.

O trabalho foi dividido em duas principais sessões. Em III são descritas as fontes de referência e a motivação para a escolha de cada uma delas. Na sequência, em IV, são listados os resultados dos principais testes realizados, as particularidades de cada um e os problemas encontrados.

TABELA I. FONTES DE REFERÊNCIA UTILIZADAS

Nome	Sistema	Incerteza do sinal de referência
"Fonte A"	Trifásico	$\pm 0,015\% @ 220 \text{ V}$
"Fonte B"	Trifásico	$\pm 0,046\% @ 220 \text{ V}$
"Fonte C"	Monofásico	$\pm 0,015\% @ 220 \text{ V}$

III. ESCOLHA DAS FONTES DE REFERÊNCIA

Durante o desenvolvimento do *framework*, foram utilizadas diferentes fontes de referência, capazes de gerar os fenômenos de QEE de interesse com incerteza menor que os limiares especificados em normas. Essa diversificação de padrões se deu por haver disponibilidade desses equipamentos, e assim foi possível verificar se as causas das não-conformidades detectadas durante o desenvolvimento eram causadas pelo analisador sob teste, e não erros das fontes de referência. Além disso, os padrões utilizados dispunham de acesso remoto, permitindo o desenvolvimento de um *framework* automatizado através de *scripts*, o que minimizou a participação de um operador humano no processo e garantiu maior confiabilidade e reprodutibilidade do teste, conforme sugerido em [8].

Foram selecionadas três fontes de referência para implementação do *framework* proposto. Esses padrões atendem aos requisitos de precisão necessários, conforme Tabela I, e disponibilizam uma linguagem de programação que permite a automação dos testes.

A. Particularidades das fontes de referência

Para a implementação da suíte de testes foram criados *scripts*, de forma a executar cada teste automaticamente. A partir do desenvolvimento dos *scripts* foi iniciado um estudo das fontes disponíveis para a programação dos testes descritos na IEC 62586-2.

No decorrer do desenvolvimento, surgiram algumas limitações referentes às configurações e ao *hardware* das fontes. Ao passo que a fonte trifásica disponível, "Fonte B", apresentou limitações na geração de algumas perturbações, a "Fonte C" cujo funcionamento atendia a quase todos os requisitos, dispunha de apenas um módulo de tensão e corrente elétrica.

Em vista disso, na intenção de obter os recursos adequados para implementar os testes, desenvolveu-se uma parceria com a Universidade de Brasília (UnB). Essa, por sua vez, disponibilizou uma fonte trifásica com quase todos os recursos necessários para a execução da suíte de testes. A fonte disponibilizada pela UnB é a "Fonte A".

Para exemplificar os problemas identificados nas fontes de referência utilizados, serão expostos alguns casos de teste e exibidas algumas oscilografias dos sinais programados.

IV. PRINCIPAIS TESTES

Nesse capítulo são abordadas particularidades referentes a implementação de alguns dos principais testes da IEC 62586-2. Apresenta-se os desafios encontrados durante a implementação do *framework* e as limitações das fontes utilizadas como

referência. Para elucidar os problemas encontrados, foram utilizadas oscilografias e medições realizadas pelos analisadores sob teste.

A forma de conexão elétrica dos analisadores nas fontes de referência trifásicas é representada pela Fig. 1, onde o equipamento está representado em escuro e os três módulos de tensão da fonte em claro.

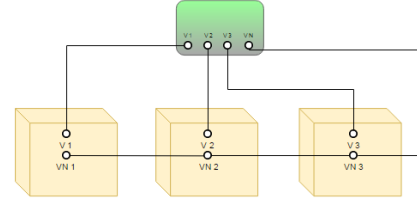


Fig. 1. Esquema de ligação utilizado nos testes

Onde $V1$, $V2$ e $V3$ são tensões de fase e $VN1$, $VN2$, $VN3$ e VN são tensões de neutro.

A. Frequência da rede (Power frequency)

A medição da frequência deverá ser obtida a cada 10 s. Como esta pode não ser exatamente 50 Hz ou 60 Hz, durante o intervalo de tempo de relógio de 10 s, o número de ciclos pode não ser um número inteiro. A medição da frequência fundamental é a relação do número de ciclos inteiros contados durante o intervalo de tempo de relógio de 10 s, dividido pela duração de tempo cumulativo de ciclos inteiros. Antes de cada avaliação, os harmônicos e inter-harmônicos devem ser submetidos a algum método de filtragem para redução de seus componentes, a fim de minimizar os efeitos de múltiplas passagens por zero. Os intervalos de tempo de medição não devem ser sobrepostos. Os ciclos individuais que sobrepõem temporariamente a fronteira de um intervalo de 10 s são descartados. Cada intervalo de 10 s deverá iniciar exatamente no intervalo de tempo de $10 \text{ s} \pm 20 \text{ ms}$ para 50 Hz ou $\pm 16,7 \text{ ms}$ para 60 Hz. A incerteza de medição não deve exceder $\pm 0,01 \text{ Hz}$ [1].

O teste A.1.3.2 da IEC 62586-2 pede que seja verificada a influência dos harmônicos na medição da frequência. Para isso são inseridos os seguintes harmônicos defasados de 180° em relação à fundamental: H3: 10% U_{din}^1 , H7: 10% U_{din} , H11: 10% U_{din} , H15: 4% U_{din} , H19: 5% U_{din} , H23: 5% U_{din} . A frequência nominal utilizada nesse teste é 59,95 Hz, e a forma de onda gerada tem fator de crista igual a 2 e possui múltiplos cruzamentos por zero, indicados na Fig. 2b, onde é possível ver no gráfico grifada a linha referente ao zero, sendo cruzada pelo sinal. Assim, o teste verifica se o filtro implementado no analisador sob teste, consegue atuar de tal forma que o equipamento não meça erroneamente valores de rms^2 referentes a esses ciclos de curta duração, gerados pelos múltiplos cruzamentos por zero.

¹ U_{din} - Tensão nominal.

² rms - Root mean square.

Durante o processo de implementação do teste, foi utilizado como referência o *framework* do fabricante da "Fonte B", entretanto foi observado que o teste implementado por eles não defasava os harmônicos em 180° em relação à fundamental, o que acabava por não gerar a forma de onda correta, sem os múltiplos cruzamentos por zero, como pode ser observado na Fig. 2a, podendo gerar um falso positivo.

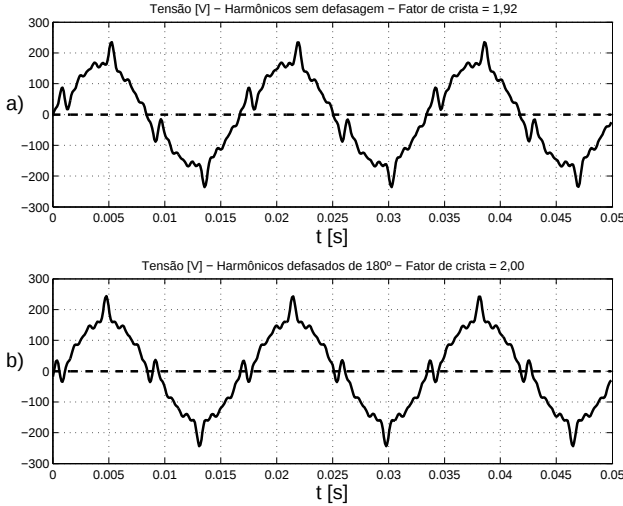


Fig. 2. Oscilografia - *framework* do fabricante da "Fonte B" (a) vs. *framework* IMS Power Quality (b).

A atenção aos requisitos da norma foi o ponto chave para a correta configuração desse teste. Caso não fosse observado o detalhe da defasagem, se poderia acreditar que o analisador sob teste apresentava um erro de desenvolvimento.

B. Flutuação de Tensão (Flicker)

Analísadores da QEE que apresentam a medição de flutuação de tensão devem implementar o *flickermeter* conforme descrito na IEC 61000-4-15 [10], o qual reproduz o modelo do sistema lâmpada-olho-cérebro para o fenômeno da cintilação luminosa.

Em linhas gerais, o *flickermeter* provê três saídas:

- P_{inst} : sensação instantânea de *flicker*;
- P_{st} : severidade de *flicker* de curta duração;
- P_{lt} : severidade de *flicker* de longa duração.

A sensação instantânea de *flicker* está relacionada com a percepção visual, para o observador humano, da modulação do fluxo luminoso em decorrência da modulação da tensão. Um valor unitário para a sensação instantânea de *flicker* representa o limiar de perceptividade para 50% dos observadores em eventuais condições de teste. Já o valor unitário da severidade de *flicker* de curta duração (P_{st}) representa o limiar onde 50% dos observadores apresentam irritabilidade. Por fim, a severidade de *flicker* de longa duração (P_{lt}) tem o objetivo de avaliar cargas perturbadoras que geram flutuações de tensão com longos ciclos de operação [11].

Os testes de flutuação de tensão foram realizados utilizando a "Fonte A", a qual permite geração de todas as modulações

conforme as tabelas 1a, 1b, 2a e 2b de [10]. Na Fig. 3, verifica-se o resultado da medição de $P_{inst,max}$, da fase A, para a aplicação de uma modulação com amplitude de 3,451% e frequência de 40 Hz, valores da tabela 2a para tensão e frequência nominais de 120 V e 60 Hz. O teste consiste em aplicar o valor tabelado de frequência e amplitude da moduladora de baixa frequência, verificando que o valor de P_{inst} permanece na faixa adequada de $1 \pm 8\% p.u.$ ³ após tempo de acomodação dos blocos internos do *flickermeter*.

Cabe salientar a importância de aguardar um período de cerca de 3 minutos após uma variação brusca na tensão da fundamental. Isto se deve ao período de acomodação do bloco 1 (*input voltage adaptor*) do *flickermeter*, o qual apresenta um filtro passa baixas com constante de tempo de 27,3 s, especificado em [10], e requer um tempo de estabilização, de 3 a 4 vezes o valor do polo. Os demais blocos do *flickermeter* apresentam tempos de acomodação menores, de aproximadamente 15 s, porém, no caso de alteração da frequência e amplitude da moduladora, deve-se aguardar a estabilização destes para a correta leitura.

Na Fig. 3.a observa-se a evolução do valor medido de $P_{inst,max}$, da fase A, durante a duração do teste de flutuação de tensão. Inicialmente, com a fonte desligada, o valor medido é de 250 *p.u.* (saturação do equipamento). A fonte é então acionada, fornecendo ao analisador uma tensão modulada conforme descrito anteriormente. O valor medido de $P_{inst,max}$ começa a variar, chegando ao valor de 1.08 *p.u.* após 85 s, como pode ser visto na Fig. 3.b. Atinge-se então o regime permanente, ilustrado na Fig. 3.c, onde a medição de $P_{inst,max}$ é verificada contra os limiares de $\pm 8\%$ estipulados na IEC 61000-4-15.

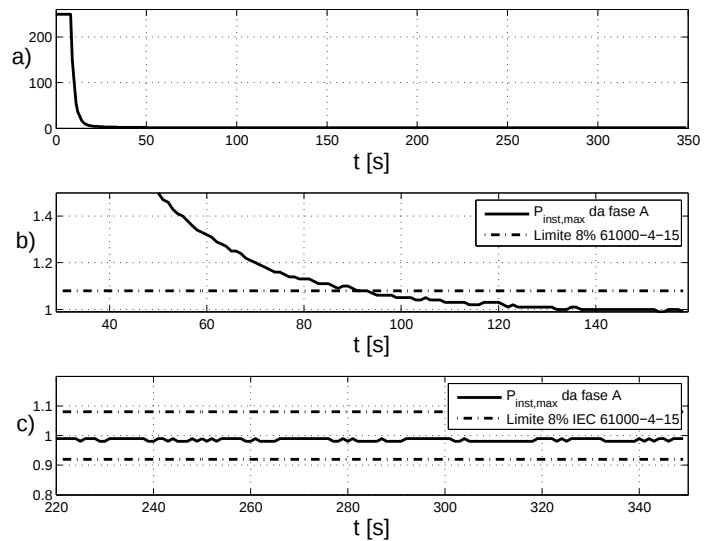


Fig. 3. Medição de $P_{inst,max}$ para uma flutuação de tensão com amplitude de 3,451% e frequência de 40 Hz - "Fonte A". Sub-figura: a) Medição de $P_{inst,max}$, b) Detalhe da estabilização dos filtros do *flickermeter* e c) Detalhe do regime permanente.

³*p.u.* - Sistema por unidade

C. Distúrbios de tensão

Segundo a IEC 61000-4-30, os distúrbios são classificados como: afundamento (*sag*), elevação (*swell*) e interrupção de tensão.

O limiar de detecção dos distúrbios poderá ser uma porcentagem da tensão nominal (U_{din}), ou ainda da tensão de referência deslizante (U_{sr}). A tensão de referência em uso deve ser declarada pelo usuário. Geralmente não é usada em sistemas de baixa tensão.

Em sistemas monofásicos, o afundamento de tensão começa quando a tensão $U_{rms}(1/2)$ ⁴ cai abaixo do limiar de afundamento de tensão e termina quando a tensão $U_{rms}(1/2)$ é igual ou superior a este mesmo limiar, somado a uma histerese. De forma similar, uma elevação de tensão inicia-se quando a tensão $U_{rms}(1/2)$ se eleva acima do limiar de elevação de tensão, e termina quando a tensão $U_{rms}(1/2)$ fica igual ou menor ao limiar de elevação de tensão menos uma histerese. Em sistemas polifásicos, semelhante ao sistema monofásico, o afundamento e a elevação de tensão começam quando a tensão $U_{rms}(1/2)$ de um ou mais canais fica abaixo, no caso de afundamento, ou acima, no caso de elevação, do limiar de tensão, e termina quando a tensão $U_{rms}(1/2)$ em todos os canais de medição é igual ou superior ao limiar de afundamento ou elevação de tensão, somados a uma histerese.

Os limiares de afundamento ou elevação de tensão e a tensão de histerese, são determinados pelo usuário em função da utilização. A medição básica de interrupção de tensão deve ser $U_{rms}(1/2)$ em cada canal de medição. Os valores de $U_{rms}(1/2)$ incluem, por definição, harmônicas, inter-harmônicas, etc.

Uma interrupção de tensão é definida de forma análoga ao afundamento.

O limiar de interrupção de tensão e a tensão de histerese são ambos ajustados pelo usuário de acordo com o uso. O limiar de interrupção de tensão não deve ser ajustado abaixo da incerteza da medição da tensão residual mais o valor da histerese. Tipicamente, a histerese é igual a 2% de U_{din} [12].

A duração de uma interrupção de tensão é a diferença de tempo entre o início e o fim da interrupção. A incerteza de medição da duração é menor do que dois ciclos dentro do tempo de *back-up* de energia do sistema de alimentação auxiliar.

O limiar de interrupção de tensão dos testes é definido pela IEC 62586-2, e os pontos variam de acordo com a classificação do equipamento, tipo A ou S, e o objetivo de cada teste.

A maior dificuldade na execução dos testes de distúrbios foi garantir que a fonte gerasse o sinal corretamente.

Foi observado, nas medições realizadas com os analisadores, o registro de distúrbios com meio ciclo de duração, no entanto, tal característica não fora programada nos testes, e isso levou a equipe de desenvolvimento a acreditar, por um momento, em problemas no algoritmo do analisador. Como forma de verificar a fonte de referência, foi utilizado um analisador classe A, certificado, para que se realizasse oscilografias do sinal de referência, e dessa forma concluiu-se que a "Fonte B" gerava distúrbios de meio ciclo, pois no momento em que

havia a troca de amplitude do sinal, a fonte reiniciava o ciclo, cruzando por zero antes de atingir o próximo nível de tensão programado, gerando distúrbios com meio ciclo de duração.

Na Fig. 4b é possível ver o sinal cruzando por zero na troca de magnitude, provocando uma detecção de distúrbio com uma duração de meio ciclo. Esse efeito gerou um falso positivo, reprovando erroneamente o analisador de qualidade de energia.

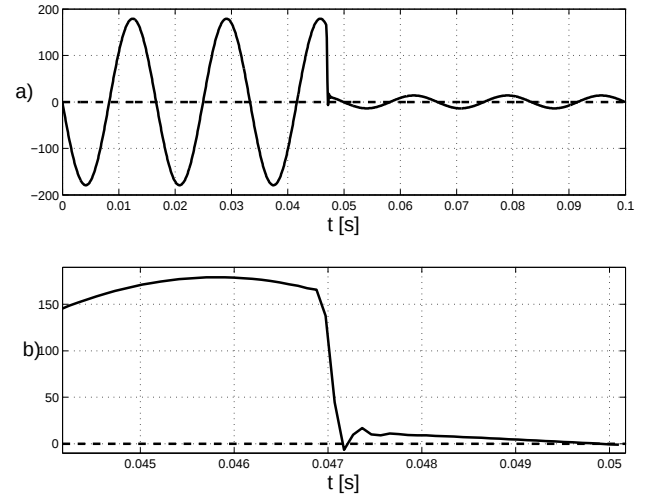


Fig. 4. Oscilografia - interrupção de tensão - "Fonte B".

Como solução a "Fonte B" foi substituída, e se observou que com as fontes "Fonte A" e "Fonte C" era factível realizar os testes de distúrbios, pois essas, além de permitirem a automação proposta no *framework* de testes, geram o sinal corretamente.

Na Fig. 5, vê-se a medição do mesmo teste mencionado na Fig. 4, agora realizado com a "Fonte A". Nota-se que o ciclo não é interrompido, e que, na transição, o controle da fonte não permite o cruzamento por zero.

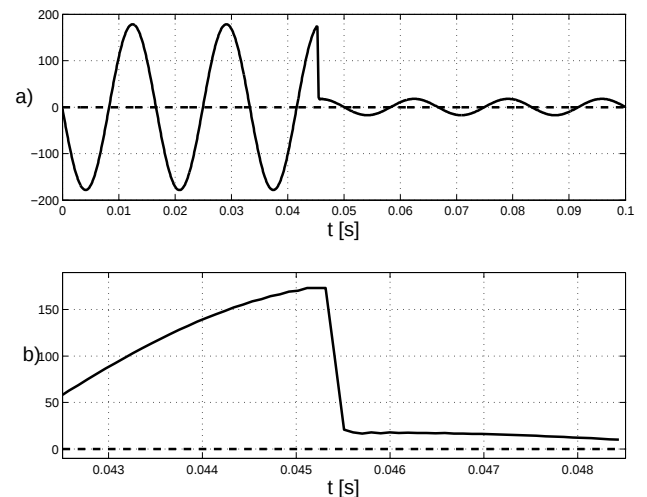


Fig. 5. Oscilografia - interrupção de tensão - "Fonte A"

⁴ $U_{rms}(1/2)$ - valor médio quadrático da tensão a cada meio ciclo.

D. Desequilíbrio de Tensão

O teste de desequilíbrio pode ser realizado tanto na "Fonte A" quanto na "Fonte B", pois basta que a fonte de alimentação CA seja trifásica, com condições de referência de tensão igual ou inferior a $\pm 0,05\%$.

No desenvolvimento desse teste foi observado um erro no item A5.1.4 da IEC 62586-2.

O teste pede que a fonte de alimentação seja configurada da seguinte forma: canal 1: 100% de U_{din} , 0° , canal 2: 90% de U_{din} , -122° e canal 3: 100% de U_{din} , $+118^\circ$. Para esses valores, a IEC 62586-2 diz que o esperado é medir $u_0^5 = 2,47\%$, com erro de $\pm 0,15\%$ e $u_2^6 = 4,52\%$, com erro de $\pm 10,15\%$. No entanto, ao aplicar esses pontos de teste, verificou-se que o analisador mediu exatamente o inverso, sendo $u_0 = 4,52\%$ e $u_2 = 2,47\%$. Na realidade os valores do critério de aceitação para u_0 e u_2 estão trocados na norma. Isso é facilmente comprovado, seja matematicamente, ou por comparação entre medições de analisadores classe A certificados.

E. Harmônicos e inter-harmônicos de Tensão

Apesar de ser a norma referência em relação a metodologia de medição e cálculo de indicadores, a IEC 61000-4-30 refere-se diretamente a IEC 61000-4-7 no que diz respeito a medição de harmônicos e inter-harmônicos de tensão. De acordo com [13], harmônicos e inter-harmônicos são deformações na forma de onda senoidal causadas por componentes de ondas periódicas cujas frequências são, respectivamente, múltiplos inteiros, ou fracionários, da frequência fundamental do sinal, até o limiar de 9kHz.

Para atender aos requisitos da classe A, o analisador da QEE sob teste deve medir até o 50º componente harmônico e inter-harmônico de tensão, utilizando, necessariamente, o método de sub-grupo, com resolução menor que 5 Hz, conforme IEC 61000-4-7. Além disso, a norma estabelece que a janela de medição de 10/12 ciclos deve, pelo menos, permanecer sincronizada com a frequência fundamental do sinal na faixa de $\pm 5\%$ da frequência nominal do sistema. Em outras palavras, o analisador da QEE sob teste deve atender aos critérios de tolerância para medição de harmônicos e inter-harmônicos na faixa de frequência de 57 a 63 Hz, para uma frequência nominal igual a 60 Hz. Por fim, a norma determina o cálculo dos indicadores de distorção harmônica e inter-harmônica totais (THDS e TIDS, respectivamente), que são a média quadrática dos componentes 2 a 50 dividido pelo componente fundamental.

Dentre os testes de conformidade para medições de harmônicos, propostos em [2], cita-se as particularidades encontradas nos testes A6.1.4 e A6.3.1. No primeiro dos testes citados, deve-se aplicar, simultaneamente, todos os harmônicos com nível igual a 200% do valor especificado para os níveis de compatibilidade classe 3, definidos em [14]. Chamou a atenção este teste pelo fato que o mesmo analisador da QEE

sob teste, quando conectado à "Fonte B", gera resultados diferentes nos componentes harmônicos altos se comparado quando conectado à "Fonte A" e à "Fonte C". A Fig. 6 ilustra essa diferença. Vê-se que o equipamento está conforme a classe A quando conectado apenas a "Fonte A" e à "Fonte C". Analisando o manual da "Fonte B", foi verificado que a largura da banda do sinal (queda de -3dB) acontece em 3,1kHz, quase no limiar do 50º harmônico, o que poderia causar a atenuação dos harmônicos próximos a esse limiar. Em comparação, a largura de banda do sinal da "Fonte A" e da "Fonte C" é de 6kHz.

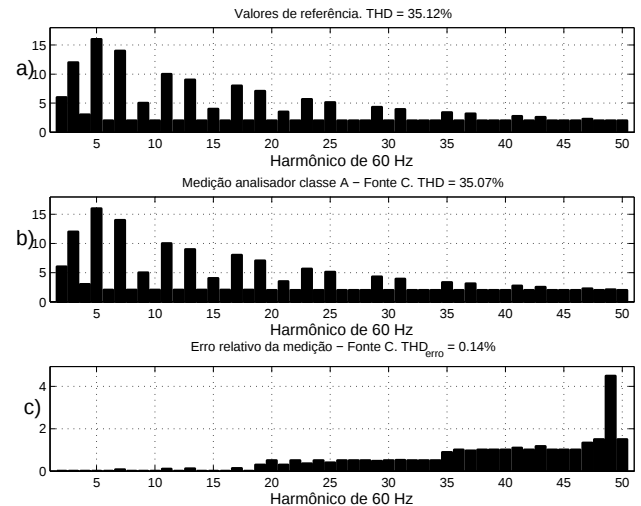


Fig. 6. Medição teste A6.1.4 - "Fonte B"

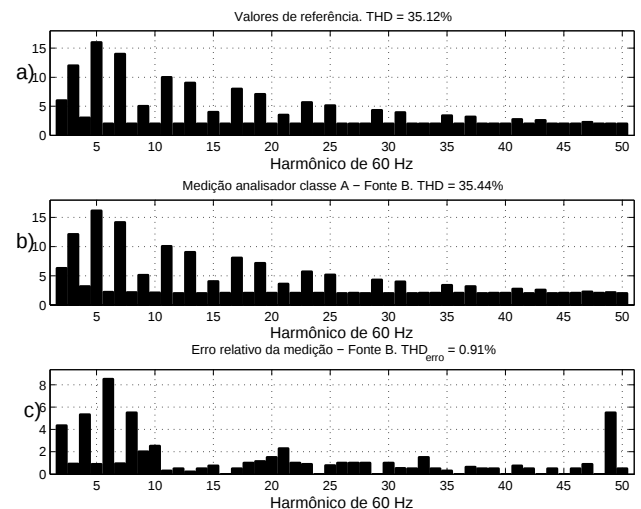


Fig. 7. Medição teste A6.1.4 - "Fonte A"

O segundo teste permite verificar a correta medição dos componentes harmônicos em frequências fundamentais diferente da frequência nominal do sistema. Na Fig. 8, são apresentados os resultados da medição obtida em dois equipamentos

⁵ u_0 - taxa de desequilíbrio de sequência zero - sistema defasado de zero graus.

⁶ u_2 - taxa de desequilíbrio de sequência negativa - segue a sequência de fase contrária a do sistema original.

sob teste diferentes, quando aplicado 5% no 2º harmônico em um sinal com frequência fundamental igual a 57 Hz. Analisando e comparando os resultados do teste realizado em um analisador conforme a classe A e em um não conforme, vê-se claramente a correta medição feita pelo primeiro equipamento, e a medição incorreta, causada pelo espalhamento espectral devido a falta de sincronismo da janela de medição, feita pelo segundo equipamento.

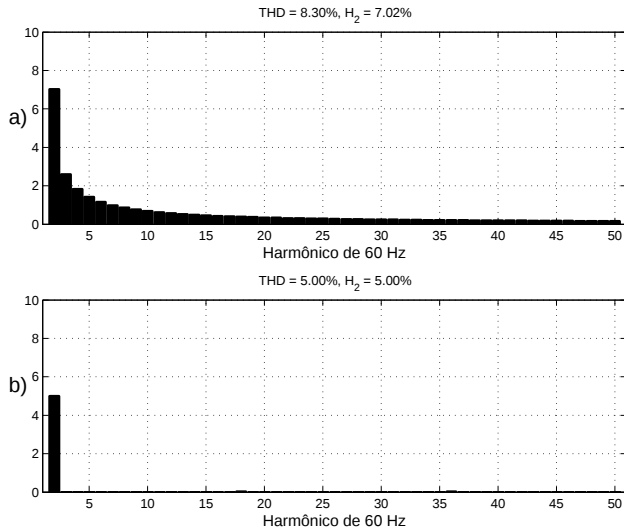


Fig. 8. Teste A6.3.1 - a) Medição realizada com um analisador Classe S, b) Medição realizado com um analisador Classe A

Os testes de inter-harmônicos são semelhantes aos propostos para os harmônicos, contudo as fontes "Fonte A" e "Fonte C" não permitem a geração de quatro harmônicos simultâneos, sendo, portanto, inaptas para execução dos itens A7.2.5 e A7.2.6 da IEC 62586-2. Já a "Fonte B" permite a aplicação de inúmeros inter-harmônicos simultaneamente, o detalhe a ser observado é sua característica de queda de -3dB em 3,1kHz, mas que não a impede de realizar os testes de inter-harmônicos descritos da IEC 62586-2.

V. CONCLUSÃO

Com o aumento da complexidade dos equipamentos desenvolvidos, o nível de detalhamento dos testes cresce proporcionalmente, exigindo mais atenção aos detalhes, seja na interpretação precisa de normas ou de requisitos de projeto. Além disso, a escolha correta da fonte de referência para verificação e realização de testes de desenvolvimento é de grande importância, pois pode afetar o sucesso do projeto, aumentando o tempo e custos de desenvolvimento.

Contudo, mesmo com uma metodologia dada pela IEC 62586-2, foi visto que pode haver erros, mesmo que pontuais, e por isso é importante manter o senso crítico durante a aplicação dos testes e, sempre que possível realizar comprovações do método, por exemplo, matematicamente ou por instrumentos de referência.

A. Trabalhos Futuros

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se o estudo da construção de um laboratório acreditado, conforme IEC 17025, capaz de certificar no Brasil equipamentos de QEE classe A. Suprindo uma necessidade do mercado brasileiro de desenvolvimento de analisadores de qualidade de energia.

REFERÊNCIAS

- [1] IEC 61000-4-30 Edition 3.0: *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and Measurement techniques - Power quality measurement methods*, International Electrotechnical Commission - IEC, 2015.
- [2] IEC 62586 Edition 2.0: *Power quality measurement in power supply systems - Part 2: Functional tests and uncertainty requirements*, International Electrotechnical Commission - IEC, 2013.
- [3] *PRODIST - Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica*, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Dezembro de 2017.
- [4] R. A. Benvenuti, D. H. Hahn, A. F. John, and J. Aprea, "Analisador iec 61000-4-30 ed. 3.0 classe a para aplicações gtd," in *XII CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*, 2017.
- [5] *Lista de Equipamentos Certificados para uma Campanha de Medições de Harmônicos, Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS*, fevereiro 2016.
- [6] *Caderno de Ensaio para Certificação de Instrumento de Medição para as Campanhas de Medição de QEE*, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, janeiro 2016.
- [7] E. Carvalheira, J. Aprea, and M. E. C. Paulino, "Impactos da nova norma iec 62586 na calibração de medidores de qualidade de energia elétrica," in *XI CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*, 2015.
- [8] D. H. Hahn and J. Aprea, "Automação de um framework de testes para um qualímetro," in *X CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*, 2013.
- [9] C. Rocha, "Estudo da qualidade de software na metodologia v-model e sua interação com metodologias ágeis (scrum)," in *Faculdade de Tecnologia de São Paulo*, 2011.
- [10] IEC 61000-4-15 Edition 2.0: *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and Measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specification*, International Electrotechnical Commission - IEC, 2010.
- [11] J. R. Macedo Jr, G. P. Colnago, G. C. D. Sousa, J. L. de Freitas Vieira, E. Trarbach, and D. S. Simonetti, "Modelagem, construção e análise de desempenho do flickermeter iec," *Revista Controle & Automação*, vol. 22, pp. 118-133, 2011.
- [12] F. N. Belchior, B. D. Bonatto, R. F. Silva, and T. S. Carvalho, "O problema da ausência de metodologia oficial uniformizada para medição da qualidade da energia elétrica no brasil," in *VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais (INDUSCON)*, At Poços de Caldas, MG, 2008.
- [13] IEC 61000-4-7 Edition 2.1: *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and Measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connect thereto*, International Electrotechnical Commission - IEC, 2010.
- [14] IEC 61000-2-4 Edition 2.0: *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-4: Environment - Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances*, International Electrotechnical Commission - IEC, 2002.