

Campanhas de medição dos indicadores de flutuação, harmônicos e desequilíbrio de tensão na Rede Básica – constatações e resultados

L. F. W. de Souza, *Graduate Student, IEEE*, R. P. D. Ross, *Senior Member, IEEE*,
J. R. Medeiros, D. O. C. Brasil

Resumo- Neste artigo apresentam-se as principais constatações e resultados obtidos nas campanhas de medição de indicadores de flutuação, harmônicos e desequilíbrio de tensão realizadas em diversas subestações de diferentes agentes de transmissão, entre os anos de 2004 e 2006. O objetivo destas campanhas é a medição dos indicadores durante sete dias consecutivos, em locais definidos e seguindo um procedimento padrão, visando a quantificação dos mesmos. Foram realizadas campanhas piloto, que se constituem num esforço pioneiro de se medir, de forma sistemática, os indicadores de qualidade de energia elétrica em barras da fronteira da rede básica. Serão ressaltados aspectos práticos desta iniciativa, como os detalhes do processo, os medidores e seus algoritmos de medição (protocolos) e os diferentes tipos de transdutores de tensão utilizados (transformadores de potencial capacitivos, indutivos, divisores capacitivos de potencial e derivações capacitivas de buchas).

Palavras-Chaves— Medição, Harmônicos, Desequilíbrio, Flutuação de Tensão.

I. INTRODUÇÃO

Para cumprir a sua missão de operar o Sistema Elétrico Brasileiro dentro de padrões de segurança e qualidade, o ONS necessita não só estabelecer indicadores e padrões de desempenho, mas também gerenciá-los. A gerência dos padrões de desempenho da Rede Básica engloba o levantamento de indicadores de desempenho, a avaliação de situações de violação de padrões e a avaliação do desempenho de novas conexões.

O processo de implantação do sistema de gerência dos indicadores de desempenho da rede básica constitui-se em uma atividade pioneira, se forem considerados os diversos aspectos técnicos que o compõe e a complexidade das soluções necessárias em um sistema com o tamanho e a diversidade do SIN. Dentro desse contexto, pela primeira vez está sendo realizada a medição sistemática de indicadores de desempenho da Rede Básica.

Tanto a definição de indicadores e padrões de desempenho quanto a sua gerência foram objeto de intensos debates entre diversos Agentes, no âmbito do Grupo de Trabalho de Qualidade de Energia Elétrica (GT-QEE), coordenado pelo ONS. Como fruto deste trabalho, foram criados os seguintes

módulos dos Procedimentos de Rede:

- Submódulo 2.2 [1], sobre os aspectos globais dos indicadores e de seus padrões;
- Submódulo 2.8 [2], sobre a gerência dos indicadores de desempenho da Rede Básica.

O submódulo 2.8 estabelece que os indicadores relacionados aos fenômenos de *flutuação, desequilíbrio e distorção harmônica da tensão* devem ser obtidos através de *campanhas de medição*, que têm ser objetivo identificar barramentos cujo desempenho esteja aquém do estabelecido em termos de indicadores globais. Neste contexto, foi elaborada uma proposta de metodologia e procedimentos a serem seguidos nestas campanhas [3]. Esta proposta foi debatida, incorporando sugestões de diversos agentes do setor elétrico, e testada inicialmente em uma campanha piloto realizada na Subestação de Taubaté, da CTEEP [4].

O presente artigo apresenta as constatações e resultados obtidos após a realização de oito campanhas de medição, entre os anos de 2004 e 2006, em diversas concessionárias de transmissão. O objetivo é apresentar as experiências adquiridas na realização de medições sistemáticas de indicadores de desempenho da Rede Básica.

II. ASPECTOS GERAIS DAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

A. Processo de realização

A medição de indicadores de flutuação, desequilíbrio e distorção harmônica pode ser feita através de campanhas de medição ou por medição contínua. Em ambos os casos, o serviço é contratado pelo ONS. Nas campanhas de medição, de caráter periódico, tanto o agente transmissor, detentor do ativo, quanto outras empresas deverão ser convidados a apresentar propostas de serviço. Os indicadores são apurados em intervalos de 10 minutos, durante sete dias consecutivos. Os resultados são enviados para o ONS, devendo ser disponibilizados para todos os agentes.

Medições de caráter contínuo poderão ser realizadas nas barras da Rede Básica onde haja registro de reclamações ou presença de cargas não lineares ou especiais, cujo desempenho implique na ocorrência de valores expressivos dos indicadores em questão.

Em ambos os casos, o objetivo é a apuração de indicadores de flutuação, desequilíbrio e distorção harmônica da tensão em barramentos da Rede Básica.

Luiz F. W. de Souza e Ricardo P. D. Ross estão no CEPEL, Rio de Janeiro, Brasil (email lfelipe@cepel.br; rpdr@cepel.br).

José Roberto de Medeiros e Dalton O. C. Brasil estão no ONS, Rio de Janeiro, Brasil (email jrmedeiros@ons.org.br; doch@ons.org.br).

Anualmente, o ONS estabelecerá, com a participação dos agentes, as barras onde serão realizadas as campanhas. O ONS deverá contratar e coordenar os serviços de medição baseado em metodologias e procedimentos previamente definidos [3].

B. Seleção de medidores

Os Procedimentos de Rede do ONS estabelecem que os medidores utilizados em campanhas de medição de qualidade de energia devam ter desempenho compatível com as normas IEC 61000-4-7 (harmônicos) [5] e 61000-4-15 (flutuação) [6]. Além disso, os medidores devem ser da classe A, definida na norma IEC 61000-4-30 [7]. Não obstante, a adequação do desempenho dos instrumentos pode ser avaliada, a critério do NOS, através de testes de laboratório.

III. CAMPANHAS REALIZADAS

Entre o 2º semestre de 2004 e o 1º semestre de 2007, foram realizadas oito campanhas de medição de harmônicos, desequilíbrio e flutuação de tensão na Rede Básica, seguindo os procedimentos padronizados que vêm sendo construídos pelo CEPEL, com a participação dos agentes envolvidos na campanha e coordenado pelo ONS [3]. Embora tenham sido seguidos todos os passos previstos no processo de medição, tanto no que diz respeito à gestão do processo (definição de locais de medição, contratação de prestadores de serviço, elaboração de relatórios, etc.), quanto no que se refere aos métodos de medição (escolha e calibração dos instrumentos, resposta em frequência dos transdutores, etc.), estas campanhas ainda tiveram um caráter de pesquisa, i.e., campanhas piloto. Por isso, eventualmente, se admitiu alguma flexibilidade na aplicação dos procedimentos de medição.

Cada campanha foi realizada em uma empresa diferente: CEEE, Cemig, Chesf, Copel, CTEEP, Eletronorte, Eletrosul e Furnas. A TABELA I mostra o local, os níveis de tensão e o ano de realização de cada campanha.

TABELA I
LOCAIS DE REALIZAÇÃO DAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

Local	Empresa	Tensões	Ano
SE Taubaté	CTEEP	138 kV	2004
SE Guamá	Eletronorte	69 e 230 kV	2005
SE Jacarepaguá	Furnas	138 kV	2005
SE Juiz de Fora 1	Cemig	138 kV	2005
SE Joinville	Eletrosul	69 e 138 kV	2006
SE Porto Alegre 10	CEEE	230 kV	2006
SE Umbará*	Copel	69 e 230 kV	2006
SE Jacaracanga*	Chesf	69 e 230 kV	2007

*Resultados ainda não disponíveis.

Em cada campanha, foram utilizados aqueles medidores com desempenho compatível com o estabelecido pelo ONS. Por se tratarem de campanhas piloto, em cada local de medição foram utilizados, sempre que possível, diferentes transdutores de tensão, de forma a se obter uma comparação entre os resultados obtidos. Foram utilizados transformadores de potencial indutivo (TPI), capacitivo (TPC), divisores de potencial capacitivo (DCP) e derivações capacitivas de buchas de transformadores (TAP). A TABELA III mostra os transdutores usados em cada campanha de medição.

TABELA III
TRANSDUTORES DE TENSÃO UTILIZADOS NAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

	TPC	TPI	DCP	TAP
SE Taubaté	•		•	
SE Guamá		•	•	
SE Jacarepaguá		•	•	•
SE Juiz de Fora 1	•	•	•	
SE Joinville		•	•	
SE Porto Alegre 10	•	•		
SE Umbará		•		
SE Jacaracanga	•	•		•

IV. DESEMPENHO DOS TRANSDUTORES DE TENSÃO

A. Resposta em frequência

Os transdutores de tensão existentes nos sistemas elétricos de potência são projetados para operarem em 60 Hz. Para harmônicos, alguns deles não apresentam resposta satisfatória [9]. Um método possível para compensar os erros dos transdutores às frequências harmônicas é obter sua função de transferência e, através dela, corrigir os harmônicos medidos.

Nas campanhas de medição realizadas, os transdutores de tensão tiveram suas funções de transferência obtidas por ensaios em campo. Considerou-se que os transdutores poderiam ser aproximados por sistemas lineares invariantes no tempo. Os ensaios para obtenção das respostas em frequência consistiram na aplicação ao transdutor de uma tensão primária de aproximadamente 1 kV, variando-se a frequência em toda a faixa harmônica. Para cada frequência, se mediu a tensão secundária, estabelecendo a relação de transformação do transdutor. Para realização dos ensaios, é necessário desconectar o transdutor do sistema.

A abordagem adotada se mostrou adequada para DCP, que são essencialmente formados por um capacitor primário de alta tensão ligado em série com um capacitor secundário de baixa tensão. A Fig. 1 mostra uma curva de resposta em frequência obtida para um DCP de 138 kV. Os DCP têm apresentado resposta em frequência virtualmente plana para a faixa de harmônicos de interesse nas campanhas de medição. Eventuais imperfeições nas curvas de resposta em frequência são corrigidas com sucesso.

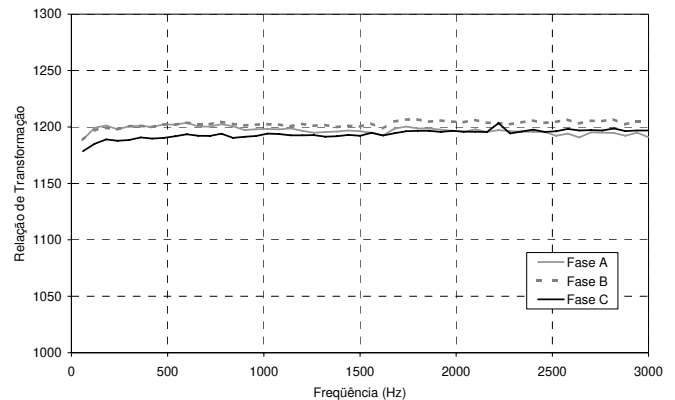


Fig. 1: Resposta em frequência de um DCP de 138 kV

Até o momento, não foram realizados ensaios de resposta em frequência em TAP, estruturalmente parecidos com DCP.

Os transformadores de potencial, tanto indutivos (TPI) quanto capacitivos (TPC), possuem núcleos magnéticos com

características não-lineares. A utilização de uma tensão mais baixa nos ensaios de resposta em frequência faz com que esses equipamentos operem em um ponto da curva de magnetização de seus núcleos magnéticos diferente do nominal. A obtenção da resposta em frequência da forma descrita é apenas uma aproximação para o TPI e o TPC.

A Fig. 2 mostra uma curva de resposta em frequência para um TPI de 138 kV. A experiência obtida nestas campanhas de medição é de que os TPI, para o método usado, apresentam uma resposta plana até a faixa de frequência entre 1 e 1,5 kHz, dependendo do modelo do equipamento. Nesta faixa, que vai até aproximadamente o 15^o harmônico, a relação de transformação do TPI é aproximadamente constante. A partir daí, o TPI apresenta comportamento não linear, que não é corrigido adequadamente pela curva de resposta em frequência. Como os harmônicos de maior amplitude tipicamente encontrados na rede são aqueles de ordem inferior à 13^a, normalmente a medição utilizando o TPI é adequada.

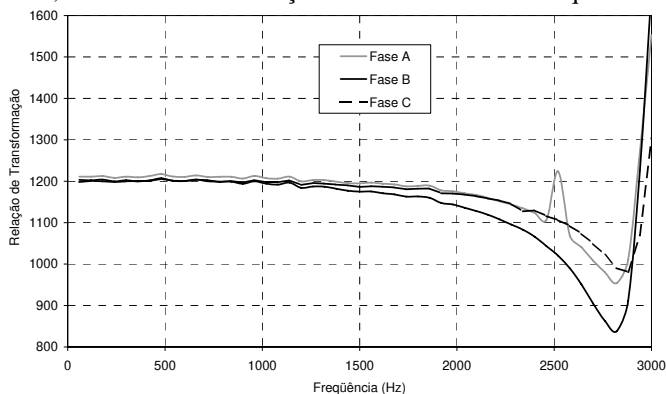


Fig. 2: Resposta em frequência de um TPI de 138 kV

A Fig. 3 mostra a resposta em frequência de um TPC de 230 kV, que apresenta variações significativas a partir do 9^o harmônico (540 Hz). Em outras situações, observou-se que estas variações podem ocorrer a partir de 180 Hz. Além disso, da forma como os ensaios foram realizados, muitas vezes não se consegue sequer obter a relação nominal de transformação a 60 Hz. A correção dos harmônicos pela curva de resposta em frequência não se mostrou adequada.

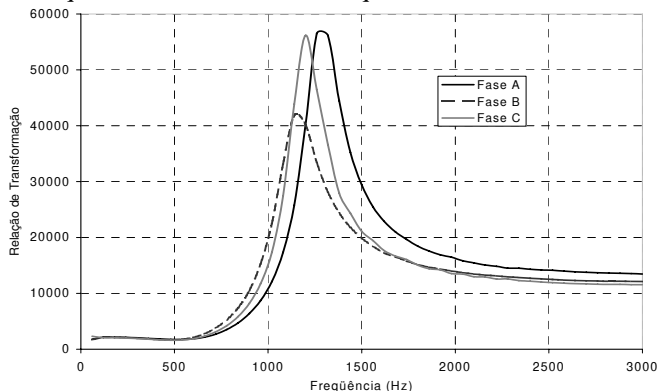


Fig. 3: Resposta em frequência de um TPC de 230 kV

A utilização do TPC para medição de harmônicos, seja utilizando-se dados brutos ou corrigidos pela resposta em frequência linear, não é recomendada. Para a utilização do

TPC em campanhas de medição de harmônicos, é desejável utilizar um método mais preciso para a obtenção da função de transferência (*e.g.*, [10]).

B. Medição de flutuação

A flutuação de tensão é um fenômeno que ocorre em faixas de frequência em torno dos 60 Hz. A experiência adquirida nestas campanhas de medição mostra que qualquer dos transdutores utilizados mede satisfatoriamente os indicadores de flutuação de tensão. A Fig. 4 mostra o resultado de um dia de medição de Pst em uma SE de 138 kV utilizando-se DCP, TPI e TPC, com valores praticamente idênticos.

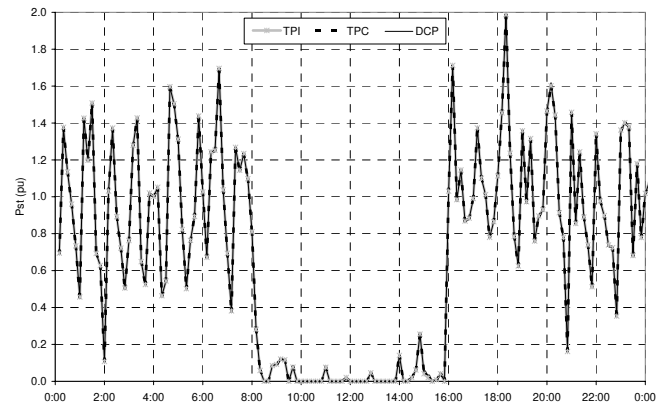


Fig. 4: Medição de flutuação de tensão em SE de 138 kV utilizando TPI, DCP e TPC

A Fig. 5 mostra o resultado de um dia de medição de Pst em outra SE de 138 kV, utilizando-se agora DCP, TPI e TAP. Mais uma vez, os resultados são semelhantes.

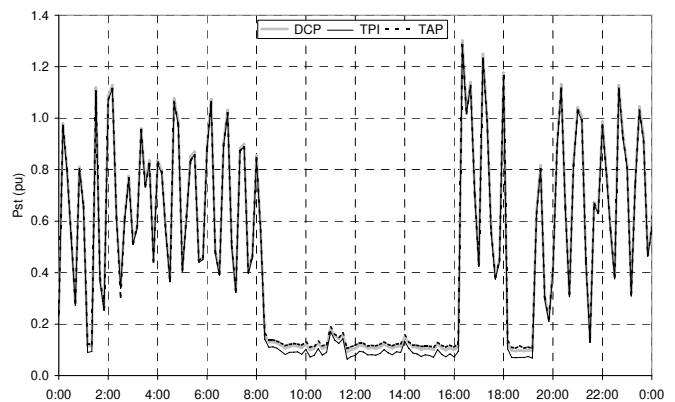


Fig. 5: Medição de flutuação de tensão em SE de 138 kV utilizando TPI, DCP e Tap Capacitivo da bucha de um transformador

C. Medição de harmônicos

Os resultados de medição de harmônicos foram obtidos pela correção dos valores registrados pelos instrumentos utilizando-se as funções de transferência dos transdutores, cujas curvas foram mostradas na seção IV-A. A comparação entre os resultados obtidos pelo DCP e pelo TPI mostrou que o segundo, mesmo com a não-linearidade de seu núcleo magnético, mede satisfatoriamente harmônicos até 1kHz, aproximadamente. A Fig. 6 mostra uma comparação da distorção harmônica total (DHT) medida por um DCP e um TPI, para dois dias de medição em uma SE de 69 kV.

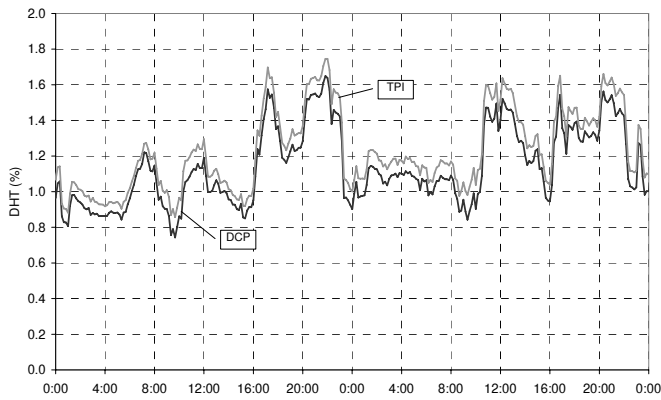


Fig. 6: Medição de harmônicos em SE de 69 kV utilizando TPI e DCP

O uso de TPC para medições de harmônicos é usualmente pouco recomendado [9], devido a sua resposta em frequência inapropriada, como visto na seção IV-A. No entanto, dado que esse é um equipamento usualmente disponível em subestações de tensão superior a 138 kV, tornando a logística das campanhas mais fácil, decidiu-se realizar as medições utilizando o TPC. Os resultados obtidos corroboraram as conclusões obtidas nos ensaios de resposta em frequência: a utilização de TPC para medição de harmônicos, ao menos com a correção proposta neste trabalho, não é aconselhável. Mesmo para os harmônicos mais baixos, como o terceiro, o TPC apresenta um erro elevado e que não é corrigido pela resposta em frequência linear realizada. A Fig. 7 mostra uma comparação da distorção harmônica total (DHT) medida por um DCP, um TPI e um TPC, para dois dias de medição em uma SE de 138 kV. Enquanto os resultados obtidos com o DCP e o TPI são virtualmente idênticos, os valores de DHT medidos no TPC são mais elevados, guardando em alguns momentos baixa correlação com os demais transdutores.

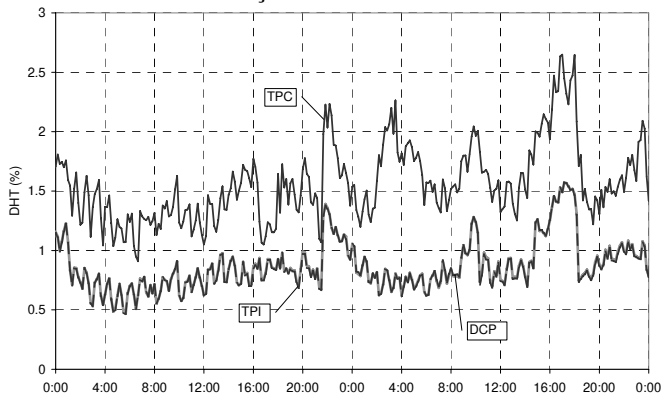


Fig. 7: Medição de harmônicos em SE de 138 kV utilizando TPI, DCP e TPC

Embora não se tenha realizado o ensaio de resposta em frequência do TAP capacitivo, os resultados obtidos para medição de harmônicos com este transdutor mostraram sua adequação para este tipo de medição. A Fig. 8 mostra uma comparação da distorção harmônica total (DHT) medida por um DCP, um TPI e um TAP, para dois dias de medição em uma SE de 138 kV. É notável a semelhança de resultados obtidos com os três transdutores. A utilização do TAP capacitivo de buchas de equipamentos de potência em campanhas de medição de qualidade de energia é, portanto,

uma alternativa interessante e que deve ser melhor explorada em campanhas futuras. Para a utilização do TAP, é necessário conectar um dispositivo acoplador à bucha e ligá-lo a um circuito secundário contendo um capacitor de baixa tensão e suas proteções [11]. O instrumento de medição é ligado a este capacitor.

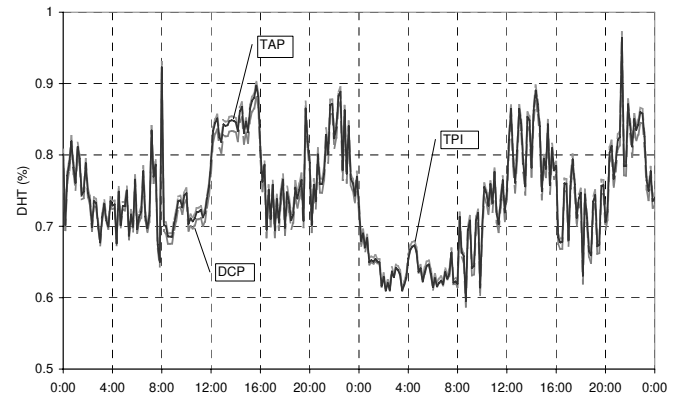


Fig. 8: Medição de harmônicos em SE de 138 kV utilizando TPI, DCP e Tap capacitivo da bucha de um transformador

D. Medição de Desequilíbrio

Se para a medição de harmônicos constatou-se que o DCP e o TAP apresentam resultados satisfatórios, enquanto o TPC apresenta resultados ruins, na medição de desequilíbrio acontece exatamente o contrário. Tanto o DCP quanto o TAP são divisores capacitivos cujos capacitores secundários são calculados e montados em laboratório de acordo com as características da SE a ser medida. Isso faz com que haja pequenas diferenças entre as fases, suficientes para causar impacto sobre as medições de desequilíbrio.

Por outro lado, os TPC, que não apresentam comportamento apropriado para medição de harmônicos, são projetados para medir precisamente em 60 Hz, sendo portanto adequados para medir desequilíbrios.

A Fig. 9 mostra uma comparação do desequilíbrio medido por um TPC e um TPI, para dois dias de medição em uma SE de 230 kV, com clara correlação entre os resultados.

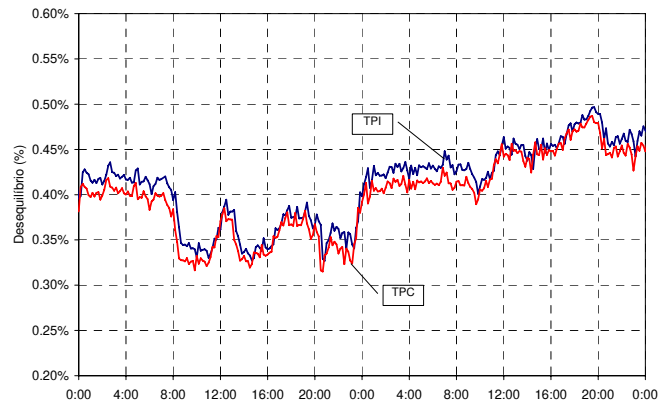


Fig. 9: Medição de desequilíbrio em SE de 230 kV utilizando TPI e TPC

A Fig. 10 mostra uma comparação do desequilíbrio medido por um DCP, um TAP e um TPI, para dois dias de medição em uma SE de 138 kV. Os valores medidos pelo DCP e pelo TAP são maiores do que aqueles medidos pelo TPI. No caso do DCP, ainda se percebe que os valores medidos apresentam baixa correlação com os valores medidos pelo TPI.

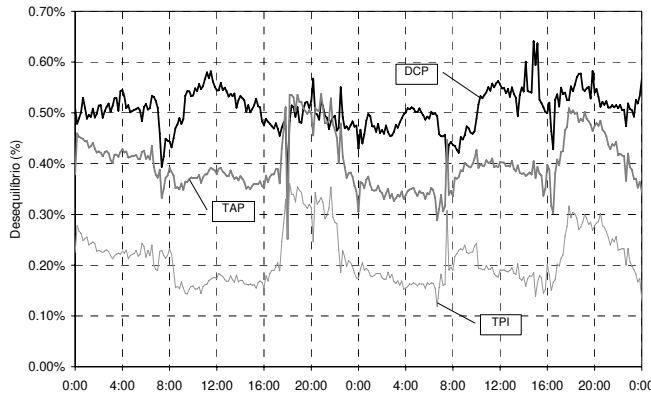


Fig. 10: Medição de desequilíbrio em SE de 138 kV utilizando TPI, DCP e Tap capacitivo da bucha de um transformador

V. OUTRAS CONSTATAÇÕES DAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

A instalação de um transdutor de tensão exclusivamente para a realização da campanha de medição deverá ser responsabilidade da concessionária detentora do ativo de transmissão. Além de ser pouco provável que um prestador de serviço forneça um conjunto de divisores capacitivos de alta tensão, dificilmente uma concessionária aceitaria conectá-los a suas instalações sem que houvesse algum tipo de garantia quanto a possíveis falhas do equipamento.

Sugere-se que a disponibilização de sinais de transdutores, bem como da infra-estrutura necessária à campanha de medição, seja feita pela concessionária. Por outro lado, as tarefas de medição dos indicadores, incluindo a configuração dos instrumentos e os testes preliminares, e ensaios de resposta em frequência podem perfeitamente ser realizada por prestadores de serviço.

Como visto na seção IV, os DCP apresentam um bom desempenho para a medição de harmônicos de tensão. No entanto, a instalação de DCP é uma tarefa trabalhosa e dispendiosa, envolvendo uma numerosa equipe, equipamentos de transporte, etc. (ver Fig. 11). Mesmo com todo o cuidado que se possa ter, sempre há o risco de falhas no equipamento.



Fig. 11: Equipe técnica instalando DCP de 69 kV sobre base prismática em subestação, com auxílio de caminhão-guindaste

Os testes preliminares no instrumento de medição [3], que eventualmente têm sido realizados de forma simplificada ou mesmo não têm sido realizados, são fundamentais para evitarem falhas de configuração dos instrumentos e garantirem que os indicadores sejam registrados corretamente.

Nas diversas campanhas realizadas, a ligação ao secundário dos transdutores foi feita de duas formas distintas: através de cabos compartilhados com outros instrumentos ou através de cabos blindados, instalados exclusivamente para a campanha de medição. O assunto é relevante e ainda não se chegou a uma conclusão sobre a configuração a se utilizar.

VI. RESULTADOS OBTIDOS

Nesta seção, são apresentados alguns resultados obtidos nas campanhas de medição para os indicadores de qualidade de energia referentes aos fenômenos medidos. Os indicadores apresentados são o KD 95% (desequilíbrio), PstD 95% (flutuação) e DTHTD 95% (harmônicos) [2].

Para o desequilíbrio e flutuação, foram considerados os resultados obtidos com TPC ou TPI. A Fig. 12 mostra os indicadores de desequilíbrio obtidos na campanha, que estão inferiores a 2%, limite global estabelecido nos Procedimentos de Rede [2]. Desta forma, segundo critérios do ONS, a qualidade de energia nesses barramentos pode ser considerada adequada quanto a desequilíbrios.

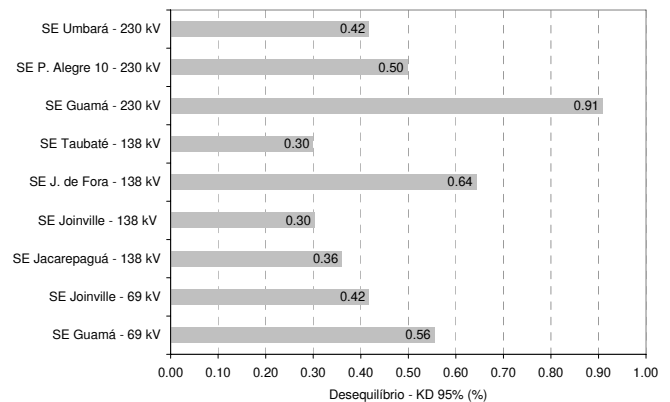


Fig. 12: Indicadores de desequilíbrio (KD 95%) obtidos nas campanhas

A Fig. 13 mostra os indicadores de flutuação de tensão obtidos na campanha. Os limites estabelecidos pelo ONS para o PstD 95% dependem do fator de transferência da subestação, que varia com o nível de tensão. Também são mostrados os limites globais inferiores e superiores para cada uma das subestações. Vê-se que em duas delas a qualidade de energia, no que se refere a flutuação, está em estado de observação [2].

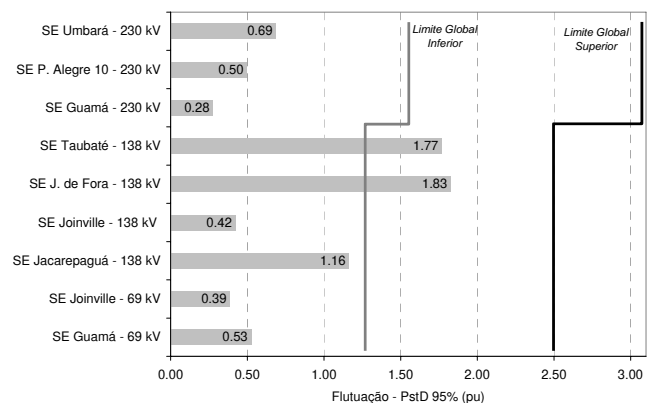


Fig. 13: Indicadores de flutuação (PstD 95%) obtidos nas campanhas

Para os harmônicos, foram usados resultados de DCP, quando disponíveis, ou TPI, sempre se utilizando a correção da resposta em frequência do transdutor. Por último, a Fig. 14 mostra os indicadores de distorção total harmônica obtidos na campanha, que estão menores do que 3 %, limite global inferior estabelecido pelo ONS. Os barramentos têm qualidade de energia considerada adequada para harmônicos [2].

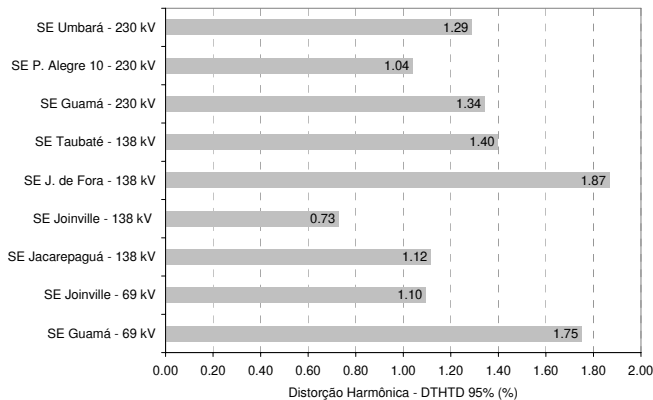


Fig. 14: Indicadores de harmônicos (DTHTD 95%) obtidos nas campanhas

VII. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou as principais constatações obtidas após a realização da primeira rodada de campanhas piloto de medição de qualidade de energia na Rede Básica. O processo de realização das campanhas foi descrito sumariamente. Foram apresentadas as principais características das campanhas realizadas.

Sobre os transdutores de tensão, constatou-se que para medição de flutuação de tensão, todos são adequados. Para medição de desequilíbrio, os melhores resultados foram obtidos com TPI ou TPC. Os circuitos secundários do DCP e do TAP apresentam pequenas discrepâncias que influenciam negativamente na medição de desequilíbrio.

Para medir harmônicos da forma proposta em [3], o TPC não é adequado. A sua utilização depende de uma modelagem mais detalhada do equipamento e de sua função de transferência. Para a faixa de frequência em que tipicamente ocorrem os harmônicos de maior amplitude no sistema elétrico (<math><15^{\text{a}}</math>), a medição com o TPI parece ser adequada. Os DCP e TAP capacitivos medem precisamente harmônicos em toda a faixa de frequência até 3 kHz. Cabe ressaltar que a instalação de DCP é trabalhosa e cara. Quanto aos TAP, tipicamente usados em ensaios de buchas, se observa alguma resistência da comunidade técnica em usá-los para medições com equipamentos energizados. É recomendável a realização de novas medições com esse transdutor, de forma a se investigar suas vantagens e desvantagens, consolidar a experiência com o seu uso e disseminar a tecnologia.

No que se refere aos indicadores, as campanhas realizadas serviram para começar a traçar um panorama da qualidade de energia na fronteira da Rede Básica, sendo ferramenta fundamental para gestão da mesma. Com base nos resultados obtidos até o momento, os procedimentos de medição serão revistos, visando a incorporar as experiências adquiridas.

Finalmente, deve-se destacar que a realização das campanhas de medição só foi possível graças ao ambiente de cooperação encontrado nas diversas empresas onde foram realizadas as campanhas. Este talvez seja o principal motivo para que o pioneiro trabalho de medição sistemática da qualidade da energia na Rede Básica venha sendo realizado com sucesso.

VIII. REFERÊNCIAS

- [1] ONS. - “Padrões de Desempenho da Rede Básica”, Submódulo 2.2, Procedimentos de Rede, Revisão 2; dezembro de 2002, [online em www.ons.org.br].
- [2] ONS. “Padrões de Desempenho da Rede Básica - Submódulo 2.8”, Procedimentos de Rede, Revisão 0, dezembro de 2002 [online em www.ons.org.br].
- [3] Brasil, D. O. C. ; Medeiros, J. R. ; Dutt-Ross, R. P. ; Souza, L. F. W. ; Martins, H. J. A. . “Definição de Metodologias e Procedimentos para as Campanhas de Medição de Indicadores de Flutuação de Tensão, Harmônicos e Desequilíbrios na Rede Básica”. In: *Anais do IX Sefope*, Rio de Janeiro, 2004.
- [4] Brasil, D. O. C. ; Medeiros, J. R. ; Dutt-Ross, R. P. ; Souza, L. F. W. ; Arruda, A. A.C. “Campanha Piloto de Medição dos Indicadores de Flutuação, Harmônicos e Desequilíbrio de Tensão Realizada na Subestação de Taubaté”. In: *Anais do VI SBQEE*, Belém, 2005.
- [5] *Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and Measurement Techniques – Flickermeter – Functional and Design Specification*, International Standard IEC 61000-4-15, 1st. Ed., 1997.
- [6] *Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and Measurement Techniques – General Guide on Harmonic and Interharmonic Measurements and Instrumentation for Power Supply Systems and Equipment connected thereto*. International Standard IEC 61000-4-7, 2nd. Ed., August 2002.
- [7] *Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and Measurement Techniques – Power Quality Measurements Methods*. International Standard IEC 61000-4-30, 1st Ed., February 2003.
- [8] Brasil, D. O. C. ; Medeiros, J. R.; Ribeiro, P. F.; Oliveira, J. C.; Delaiba, A. C. “Considerations on Power Quality Measurements and Measurement Instrumentation”. In: *Proceedings of IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America*, São Paulo, 2004.
- [9] Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso, S., Wayne Beaty, H. *Electrical Power Systems Quality*, 2nd edition, McGraw-Hill, New York, 528 p.
- [10] Ghassemi, F., Galé, P. F., Clegg, B., Cumming, T., Coutts, C. “Method to Measure CVT Transfer Function”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 17, no. 4, October 2002, pp. 915-920.
- [11] Junqueira, A. J. S., Silva, M. T. F. *et al*. “Medições de Campo Para Avaliação de Sobretensões Provenientes das Manobras de Reatores de Potência em Derivação”, *Anais do XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, Curitiba, Outubro, 2005.

IX. BIOGRAFIAS

Luiz Felipe Willcox de Souza (GS’07) é engenheiro eletricitista pela UFF (1994), mestre e doutor pela Coppe/UFRJ (1998 e 2007). É pesquisador do CEPEL desde 1996, atuando nas áreas de qualidade de energia e FACTS.

Ricardo Penido D. Ross (M’96) - engenheiro eletricitista e mestre pela PUC-RJ em 1977 e 1982. É pesquisador do CEPEL desde 1985, desenvolvendo pesquisas e estudos nas áreas de sistemas elétricos de potência e qualidade de energia.

José R. Medeiros é engenheiro eletricitista pelo Instituto Militar de Engenharia do Rio de Janeiro (1976) e mestre pela Coppe/UFRJ, Brasil (1991). Atualmente trabalha no ONS como consultor na área de Qualidade de Energia.

Dalton O. C. Brasil é engenheiro eletricitista pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1972) e mestre pela Universidade Federal de Pernambuco (1996). Atualmente trabalha no ONS como gerente de administração da transmissão.