



**XXIII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GDS/06  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO – X**

**GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GDS**

**DISCUSSÕES E PROPOSIÇÕES DO PROCESSO DE GERENCIAMENTO DO CONTEÚDO HARMÔNICO  
GERADO PELOS PARQUES EÓLICOS CONECTADOS À REDE BÁSICA**

**Fabiano Andrade de Oliveira(\*)**  
**ONS**

**José Roberto Medeiros**  
**ONS**

**Sandro Kiyoshi Yamamoto**  
**ABEólica**

**RESUMO**

O aumento de cargas não lineares no sistema elétrico, principalmente aquelas que se enquadram como Fontes de Energia Renováveis, dentre as quais as Centrais Eólicas, têm contribuído gradativamente como fontes geradoras de correntes harmônicas para o sistema elétrico e vem merecendo uma atenção desse setor no quesito qualidade no fornecimento de energia elétrica.

O objetivo desse trabalho é, portanto, discutir sobre os atuais e futuros problemas na qualidade de energia provocados pelos parques eólicos envolvendo a comunidade do setor elétrico através da criação de um Grupo de Trabalho ABEólica para um aperfeiçoamento das práticas e, conseqüente aprimoramento de processos dos Procedimentos de Rede no que tange ao gerenciamento do nível de conteúdo harmônico da Rede Básica.

**PALAVRAS-CHAVE**

Parques eólicos, harmônicos, Rede Básica, gerenciamento, processo.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O ONS, como responsável pelo gerenciamento dos indicadores de qualidade das atuais e de novas solicitações de instalações para conexão à Rede Básica, propôs um Grupo de Trabalho juntamente com os agentes de geradores eólicos, para discutir sobre questões relevantes de gerenciamento de harmônica causadas pelos parques eólicos.

Os pontos propostos de discussão desse grupo de trabalho, que envolve diversos participantes do setor elétrico, desde agentes, fabricantes de equipamentos, consultores e que ultimamente merecem destaques podem ser resumidos em discussões sobre as normas que descrevem as práticas de medição, estudos e de monitoramento bem como proposições de melhoria das metodologias vigentes de representação da rede externa e interna para um melhor gerenciamento no que refere à distorção harmônica. Nesse trabalho destacam-se as práticas atualmente recomendadas pelo ONS para as campanhas de medição e estudos informando os detalhes de cada processo, bem como as tratativas da apresentação dos resultados obtidos dessas campanhas para o acesso e conexão definitiva dos parques eólicos.

Dentre outros temas vale salientar um comparativo de correntes harmônicas certificadas de um gerador eólico e aquelas obtidas em campo de campanhas já realizadas anteriormente, como também recomendações na utilização do tipo de transformadores de instrumento e seus respectivos acessórios na realização das campanhas de medição.

Adicionalmente, do ponto de vista de desempenho harmônico, este trabalho descreve sobre a abertura para novas tecnologias como a aplicação de filtros ativos para mitigar os efeitos na distorção harmônica de tensão na operação de aerogeradores.

## 2.0 - GERENCIAMENTO DAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Dentre as diversas atribuições do ONS, o gerenciamento do desempenho da Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN) no tocante à qualidade de energia elétrica (QEE) vem sendo fórum de discussões para o aprimoramento dos procedimentos existentes [1]. Em virtude de dúvidas frequentes de agentes com cargas não lineares, principalmente no caso de parques eólicos, para acesso à Rede Básica e da forma de avaliação quanto às condições necessárias para a conexão ao sistema elétrico, o ONS propôs um Grupo de Trabalho juntamente com os agentes de geradores eólicos, para discutir sobre questões relevantes de gerenciamento de harmônica causadas pelos parques eólicos. O documento [1] citado anteriormente está dividido basicamente em uma parte referente a Estudos e outra nas Campanhas de Medição.

### 2.1 Visão geral do processo de gerenciamento das distorções harmônicas

Os procedimentos de Estudos e Campanhas de Medição têm caráter complementar, pois se referem a etapas sequenciais bem definidas no documento de apoio [1] para futuros acessantes da Rede Básica ou aqueles que já acessam a rede e buscam um novo ponto de conexão ou ampliação de suas instalações.

### 2.2 Estudos de desempenho harmônico

Os estudos de desempenho harmônico têm como finalidade sinalizar eventuais providências a serem tomadas antecipadamente pelo acessante, antes da conexão da sua planta no sistema de transmissão, de forma a atender os limites individuais dos indicadores de qualidade estabelecidos pelo ONS. Além disso, avaliam situações futuras e mais abrangentes sobre o comportamento da rede elétrica frente às injeções de correntes harmônicas efetuadas pela instalação do acessante.

Dentre algumas questões discutidas atualmente pelo Grupo de Trabalho da ABEEólica para a melhoria do processo atual de avaliação de desempenho harmônico de parques eólicos e que está diretamente ligado aos estudos de QEE, é a metodologia do LG (Lugar Geométrico) representado pelo Setor Circular ou Anular no plano complexo  $B(\omega)_{(susceptância)} \times G(\omega)_{(condutância)}$  - Figura 1 e recomendado pelo ONS.

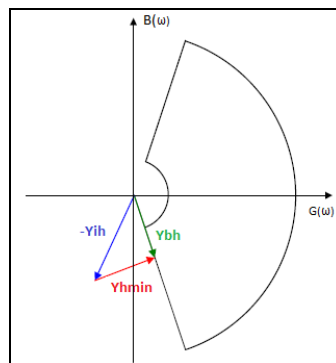


FIGURA 1 - Representação do LG - Setor Circular ou Anular

Independentemente da metodologia adotada para o LG e que representa a rede externa, a rede interna por sua vez, é representada por um equivalente de Norton ( $I_h$  e  $Y_{ih}$ ) e a rede externa por um LG representativo das admitâncias harmônicas da Rede Básica ( $Y_{bh}$ ) vistas do PAC (Ponto de Acoplamento Comum) de acordo com a Figura 2.

Deve-se portanto, identificar um valor de admitância da rede básica pertencente ao seu LG que maximiza o valor da tensão harmônica no PAC para cada ordem harmônica ( $h$ ) de tal forma que, a tensão harmônica seja máxima, ou seja,  $V_{hmax} = I_h / Y_{hmin} = I_h / (Y_{ih} + Y_{bh})$ . O denominador  $Y_{hmin}$  é o módulo da soma vetorial em paralelo da admitância Norton equivalente da rede do agente ( $Y_{ih} = 1/Z_{ih}$ ) com a admitância correspondente ao ponto do envelope do LG de admitância da rede básica ( $Y_{bh}$ ) que minimiza  $Y_{hmin}$ .

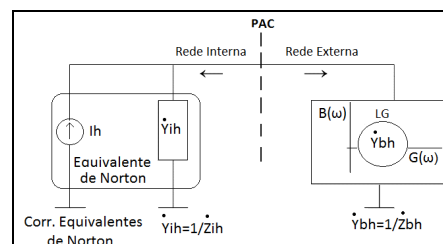


FIGURA 2 - Representação do "Equivalente Norton" com o LG da rede básica

O ponto no envelope que corresponde a esse menor módulo é encontrado geometricamente como a menor distância do extremo do vetor  $-Y_{ih}$  ao LG de admitância harmônica da rede básica (vetor  $Y_{bh}$ ), onde tais vetores são perpendiculares, conforme Figura 1.

### 2.2.1. Lugar Geométrico proposto

Com respeito ao novo LG a ser proposto e decorrente de várias discussões com agentes participantes do GT ABEEólica para representar a rede externa (Rede Básica), dentre diversos modelos encontrados nas literaturas atuais, a metodologia do “polígono de n lados” mostrou-se uma alternativa intermediária e bastante razoável para se representar a rede externa (Rede Básica). O LG proposto que inclui as otimizações inerentes e complementadas com as observações e margens de segurança consideradas adequadas pelo ONS visa, sobretudo, garantir a integridade e proteção do sistema elétrico para a conexão de novos acessos à Rede Básica.

A obtenção da metodologia proposta pode ser desenvolvida de forma independente por cada agente, porém deve-se seguir a mesma filosofia descrita anteriormente para a obtenção dos fasores  $Y_{ih}$ ,  $Y_{bh}$  e, por conseguinte  $Y_{min}$  para assim, resultar o polígono formado pela ligação de todos os pontos extremos da nuvem de pontos de admitâncias e obter a distorção máxima de tensão para cada ordem harmônica. A Figura 3 mostra um comparativo dos dois métodos (Anular e Polígono de n lados) e nota-se que, as distâncias mínimas entre a rede interna e os LGs de cada método são significativos, ou seja, o vetor resultante  $Y_{min}$  do método poligonal gera distorções harmônicas de tensão menores quando comparados ao do método do Setor Anular.

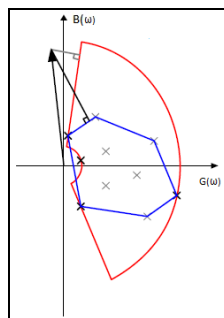


FIGURA 3 - Comparativo dos LGs do Setor Circular (vermelho) e do polígono de “n” lados (azul)

#### 2.2.1.1 Peculiaridades do LG proposto – Vantagens, desvantagens e premissas

A metodologia do “polígono de n lados” apresenta algumas vantagens quando comparadas ao do Setor Circular, tais como:

- representação da rede externa de forma mais realista;
- obtenção de valores de distorções harmônicas de tensão com maior probabilidade de ocorrerem, resultando dessa forma, em projetos de filtros de correntes harmônicas menos robustos e, por sua vez, o dimensionamento dos seus componentes (“rating”) com as sobretensões associadas a uma realidade mais factível para um custo final do produto mais baixo.

Por outro lado, cabe destacar uma desvantagem do método do “polígono de n lados” no que diz respeito à sua margem de segurança reduzida. Para contornar essa questão e que poderia deixar o ONS desprovida de qualquer argumentação técnica para justificar um problema futuro e oriundo da entrada e operação dos parques eólicos ou outros tipos de cargas não lineares, a margem de segurança será mantida com a ampliação da faixa de ordens harmônicas utilizando degraus bem definidos de valor de 0,5 para as harmônicas adjacentes posteriores e inferiores, ou seja,  $(h-1, h-0,5, h, h+0,5, h+1)$ .

Com isso será possível estabelecer uma margem de segurança para o traçado do polígono proposto incluindo boa parte das incertezas inerentes às modificações do sistema elétrico para horizontes acima dos três anos do PAR (Planejamento Ampliações e Reforços) já considerados nos estudos de desempenho harmônico. A utilização desse incremento para as harmônicas posteriores e inferiores garantirá uma varredura dos pontos de impedância harmônica, possivelmente não detectados ao se considerar, como é feito atualmente, degraus de valores unitários para as harmônicas adjacentes, seja inferior e superior. Vale ressaltar que, a ampliação adicional dos horizontes para aqueles disponibilizados pela EPE (Empresa de Planejamento Energético) de 10 (dez) anos, conforme sugestão da referência [2] para se obter uma margem de segurança da aplicação do método poligonal, não é uma solução que agrega resultados otimizadores do ponto de vista sistêmico para o tipo de carga em análise (parques eólicos). A justificativa está no grau de incerteza elevado (aumento considerável da nuvem de pontos do LG) quando comparados àqueles do PAR, no aumento do tempo computacional de simulações e, também da indicação de filtros de correntes harmônicas robustos (sobredimensionados) muitas vezes, sem uma real necessidade devido às frequentes alterações de atualizações necessárias realizadas pela EPE.

Algumas observações importantes devem ser levadas em consideração para a aplicação do método poligonal de forma que, otimizações adicionais, particularidades ou mesmo premissas para uma determinada situação não venham comprometer a operação do sistema elétrico e garantir assim, a conexão de novos acessantes. Os pontos principais que se deve atentar para a aplicação do método “poligonal de n lados” em consonância com a responsabilidade do ONS em assegurar os cumprimento dos requisitos técnicos mínimos para a conexão de novos usuários e o gerenciamento dos indicadores de desempenho da Rede Básica, são destacados a seguir e considerados como desvios não aceitáveis:

- cortes ou atalhos (“entradas”) e até mesmo acréscimo de retas (“lados”) na formação do polígono com o objetivo de se eliminar regiões sem impedâncias;
- deixar de incluir os harmônicos adjacentes anteriores e posteriores para todas as ordens harmônicas, visto que, essa consideração garante prever as constantes alterações do sistema elétrico devido ao seu dinamismo e com uma margem de segurança aceitável na prevenção das diversas condições operativas e incertezas impostas à Rede Básica;
- aplicação de forma inconsistente do fator  $\alpha$  (\*) para as ordens harmônicas no cálculo das correntes harmônicas equivalentes de Norton, conforme definido na referência [1]. Esse documento considera a dificuldade decorrente do estabelecimento dos ângulos entre as correntes geradas pelas diferentes fontes, independentemente controladas para uma mesma harmônica, e para tanto, recomenda que a corrente resultante deve ser obtida através da formulação proposta pela IEC 61000-3-6 [4] e descrita abaixo como referência.

$$I_{n,total} = \left( \sum_{i=1}^m I_{n,i}^{\alpha} \right)^{\left( \frac{1}{\alpha} \right)}$$

Onde:  $n$  – ordem harmônica  
 $m$  – número total de fontes

$\alpha$	Ordem da harmônica
1	$n < 5$
1,4	$5 \leq n \leq 10$
2	$n > 10$

(\*) De uma forma geral, a norma considera a pior condição (harmônicas em fase), entretanto, em determinadas situações bem específicas e por diferentes motivos, as correntes harmônicas podem estar defasadas, como por exemplo uma harmônica não-característica (3ª ordem harmônica), e então pode-se aplicar um fator  $\alpha$  igual a 1,2 no sentido de se reduzir a contribuição daquela ordem harmônica devido à defasagem angular.

## 2.2.2. Práticas atualmente recomendadas pelo ONS para a gestão de Desempenho Harmônico

### 2.2.2.1 Passos/critérios na realização dos estudos

Com o intuito de complementar o documento [1], no que diz respeito ao conteúdo dos relatórios de desempenho harmônico a serem apresentados ao ONS, os itens seguintes deverão ser acrescentados para a avaliação do estudo de uma forma unívoca:

- ✓ Representação de modelos típicos de ramais de carga para barramentos de 345 kV, 230 kV, 138 kV e 69 kV definidos pelo ONS;
- ✓ Realização de contingências (critério N-1) para todos os equipamentos presentes até a 3ª (terceira) vizinhança da barra PAC e para cada cenário de carga leve, média e pesada para os 03 (três) anos de horizontes do PAR;
- ✓ Representação de todas as resistências dos transformadores e geradores do SIN sem modelos oriundos dos arquivos de formato Anarede e Anatem com adoção de valores típicos de 2% e 1% das correspondentes reatâncias, respectivamente;
- ✓ Consideração da variação da resistência com a frequência (efeito pelicular) nas linhas de transmissão, transformadores e máquinas síncronas;
- ✓ Tabela de distorção máxima de tensão no PAC para os caso base e as (N-1) contingências (sem e com filtro proposto);
- ✓ Tabela com os parâmetros do filtro e a sua dessintonia nos cálculos da distorção harmônica de tensão.

## 2.3 Campanhas de Medição

As campanhas de medição têm por finalidade avaliar o impacto da instalação do acessante na rede à época da sua conexão e em condições sistêmicas para que dessa forma, se verifique o desempenho real da mesma sem a necessidade de se utilizar recursos de modelagem. Essas campanhas devem ser realizadas pelo acessante imediatamente antes, durante e após a sua conexão no sistema de transmissão, uma vez que, as contribuições de

cada fonte geradora de de correntes harmônicas durante as medições podem apresentar valores diferentes daqueles certificados ou mesmo calculados na fase dos estudos de desempenho harmônico.

A classificação dessas campanhas são determinadas, conforme o estágio de implantação dos parques eólicos:

- ✓ Campanha Pré: voltada para a tensão e conhecimento da distorção de tensão da Rede Básica;
- ✓ Campanhas de Medição de Corrente: na saída dos aerogeradores para comparação com correntes utilizadas no estudo;
- ✓ Campanha de Monitoramento: também voltada para a tensão e condicionada à operação de todo o parque eólico ao número máximo de aerogeradores que poderão ser conectados sem a violação da ordem harmônica identificada no estudo. Nessa situação, o filtro proposto ainda não foi implementado;
- ✓ Campanha Pós: se refere basicamente ao atendimento dos limites globais (individual e total) de distorção de tensão no PAC decorrente da implantação do filtro e, por conseguinte de seu desempenho.

### 2.3.1. Práticas atualmente recomendadas pelo ONS para as Campanhas de Medição

#### 2.3.1.1 Processo atual das Campanhas de Medição

As campanhas de medição, como etapa complementar aos estudos de desempenho harmônico, tem sido ainda motivo de várias dúvidas quanto ao início da realização de cada uma, os períodos mais adequados para uma determinada campanha e das obrigações dos agentes quanto ao envio de relatórios decorrentes das medições. Para tanto, com o objetivo de esclarecer as questões mais frequentes referentes às campanhas, e o seu processo de gerenciamento e controle foi desenhado os fluxogramas ilustrados pelas Figuras 4a e 4b para descrever os passos para a realização das campanhas de medição.

Explorando a Figuras 4a, o início das medições pré pode ser feito assim que o documento do Parecer de Acesso for emitido pelo ONS, onde o propósito final é saber a respeito dos principais indicadores de qualidade que com respeito à Rede Básica, antes que o agente seja conectado. Os valores medidos são armazenados em uma planilha de fornecimento padrão ONS, enviados à GET2 (departamento responsável para análise) por meio do e-mail "qualidade\_energia@ons.org.br, juntamente com um relatório respectivo, onde é avaliado a DHT (distorção harmônica total) no PAC de acordo com o submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede. Caso esse valor de DHT é ultrapassado, cabe a tomada de decisões futuras e ações de melhoria da Rede Básica por parte do ONS. Por outro lado, se não houve violação do DHT, o ONS emite a DAPR-T (documento de aprovação provisória em teste).

Uma vez com os parques em operação, deve-se realizar a campanha de medição de corrente na saída dos aerogeradores. Essa campanha, independentemente se o agente utilizou no seu estudo de desempenho harmônico as correntes calculadas (modelo matemático) ou aquelas fornecidas pelo fabricante (certificadas), deve ser realizada até um período de 01 (ano) ou qualquer outro período de condição favorável de vento, de forma seja possível obter as correntes harmônicas para todo o espectro harmônico (2 a 50) e para cada faixa de potência nominal do aerogerador (0 a 100%), conforme descrito na IEC 61400-21[3]. Caso as correntes medidas sejam maiores que aquelas consideradas no estudo (modelo matemático ou certificadas), o agente deverá refazer o estudo de desempenho harmônico com as correntes medidas, enviar o relatório de estudo à GET2 do ONS para nova avaliação. Se com a revisão do estudo houve a necessidade de se redimensionar ou implantar filtro é emitida a DAPR-P (documento de aprovação provisória) e a próxima fase é a campanha de monitoramento. Entretanto, se as correntes medidas forem menores que aquelas consideradas no estudo, verifica-se no estudo se houve a necessidade de filtro e caso positivo, emite-se a DAPR-P (com essa observação) para prosseguir para a próxima etapa que é a campanha de monitoramento. Por outro lado, em que as correntes medidas forem menores que as do estudo e não houve a indicação de um filtro, é emitida a DAPR-P com essa informação e o próximo passo é a campanha pós.

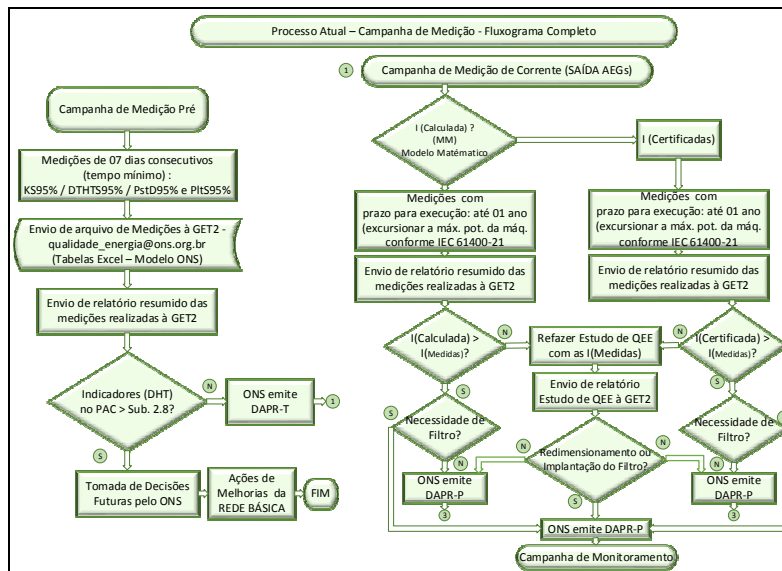


FIGURA 4a – Processo Atual – Campanha de Medição

A campanha de monitoramento é a etapa das campanhas de medições em que o agente, na indisponibilidade do fornecimento do(s) filtro(s) proposto(s) no momento de operação dos parques eólicos, fica restrito a uma redução imediata do número máximo de aerogeradores do seu parque eólico a partir do momento que houve a primeira violação do indicador de distorção harmônica total global inferior de tensão no PAC. Dessa forma, embora é permitido que o agente entre em operação com todos os aerogeradores do seu complexo eólico, o monitoramento contínuo dos indicadores de qualidade (desequilíbrio, distorção harmônica de tensão e flicker) e, principalmente o de distorção de tensão harmônica violar uma única vez o limite global inferior no PAC, a quantidade de aerogeradores é reduzida de acordo com informação descrita no estudo. A partir desse momento, somente após a implantação do(s) filtro(s) é que todo o complexo eólico poderá operar normalmente. Posteriormente, é realizada a campanha pós que encerra as etapas das campanhas da medição.

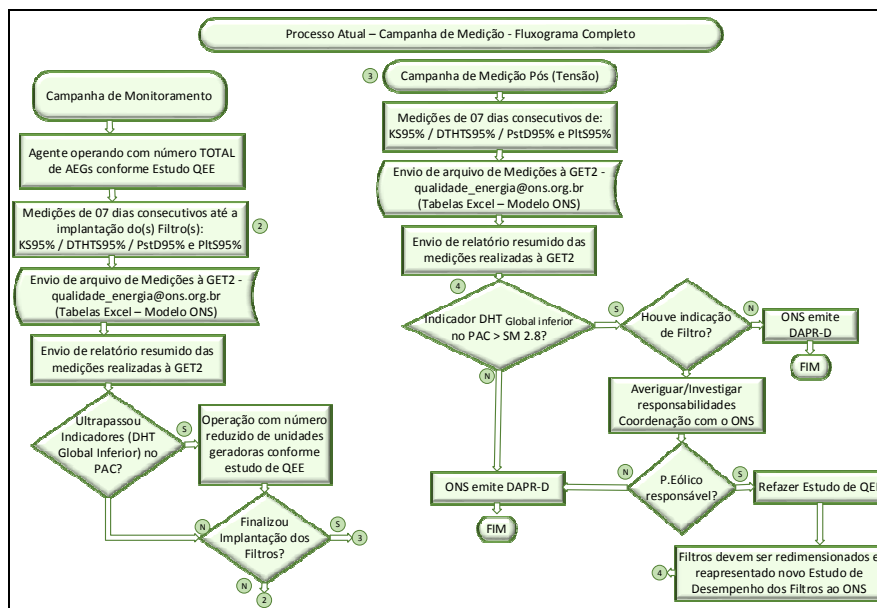


FIGURA 4b – Processo Atual – Campanha de Medição

Na campanha pós, realizada com o intuito de se avaliar o desempenho do filtro proposto ou no caso do estudo em que não houve a indicação do filtro em se avaliar as condições da Rede Básica no tocante aos indicadores de qualidade, são retiradas todas as restrições impostas ao agente em virtude de alguma pendência de fornecimento de equipamento e/ou operação e, por fim, a emissão final da DAPR-D (documento de aprovação definitiva). No caso do indicador de distorção harmônica de tensão global inferior no PAC superar os limites estabelecidos no Submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede, deve-se observar se nesse etapa houve a indicação de filtro. Em caso negativo, o documento DAPR-D é emitido e finaliza o processo. Caso contrário, deve-se averiguar/investigar as responsabilidades (\*) e se o parque eólico em questão foi o causador da violação. Em seguida, deve-se realizar um novo estudo de QEE com a representação dos resultados para a redução do limite global inferior no PAC da

distorção harmônica de tensão para que o documento DAPR-D possa ser emitido. Por outro lado, caso o parque eólico não seja o responsável pela violação do limite global inferior da distorção harmônica de tensão, a DAPR-D pode ser emitida finalizando todas as etapas das campanhas de medição e obrigações pelo agente no aspecto da QEE.

(\*) Nota: Algumas propostas para atribuição de responsabilidades sobre as distorções harmônicas têm se mostrado bastante relevantes quando se trata de medições de correntes e tensões harmônicas. Algumas bibliografias [5] relatam sobre o tema utilizando o método da superposição com motivação para a realização de P&Ds. Esse é um tema realmente que necessita de atenção e que instiga a divulgação de outros artigos para um tratamento dedicado, pois as contribuições e resultados dessas investigações terão grandes benefícios ao se realizar medições de correntes e tensões harmônicas em campo e se deseja apurar os responsáveis pela violação dos indicadores de qualidade de energia.

### 2.3.1.2 Recomendações na utilização de transformadores de instrumento e seus respectivos acessórios na realização das campanhas de medição

Algumas recomendações são salientadas nesse item quanto à utilização de transformadores de instrumento e seus respectivos acessórios na realização das campanhas de medição.

Reforçando os principais tipos de transdutores da referência [1] e que poderiam ser utilizados em campanhas de medição, destacam-se:

- ✓ TPI - Transformador de Potencial Indutivo;
- ✓ TPC - Transformador de Potencial Capacitivo;
- ✓ DPC - Divisor de Potencial Capacitivo;
- ✓ DPCR - Divisor de Potencial Capacitivo-Resistivo
- ✓ TCB - Tape Capacitivo de Bucha de Transformador de Potência ou de Reator em Derivação

Observe-se ainda que enquanto os transdutores do tipo TPC e TPI encontram-se, normalmente, instalados nos barramentos das subestações onde serão realizadas as medições, os transdutores DPC e TCB necessitam de ações complementares para a sua instalação durante a realização de campanhas, tal como a realização de desligamentos, o que traz um grau de dificuldade adicional, além de um risco teórico associado para a operação do sistema decorrente a possíveis falhas nestes equipamentos.

As recomendações dos procedimentos realizados em instalações que possuam diferentes tipos de transdutores de tensão e que visam atingir o nível de precisão necessário para a realização das campanhas de medição de QEE, devem estar de acordo com o relatório técnico IEC 61869-103 [7], com ênfase em distorções harmônicas.

Um resumo das recomendações dos tipos de transdutores de tensão disponíveis para as campanhas de medição de QEE pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 1 - Recomendações dos tipos de transdutores de tensão para as campanhas de medição de QEE

Tipo do Transdutor de Tensão	Aplicação para QEE
TPI	A utilização de TPI somente é factível, se houver possibilidade de determinação da resposta de frequência do equipamento, antes da realização da campanha. Mesmo assim é baixa a chance de se obter a resposta necessária. NÃO É RECOMENDADO.
TPC	Utilização somente é factível se o mesmo dispuser de tap específico para este fim, ou caso se adote uma unidade de medição conectada aos terminais secundários que provenha a linearização de sua resposta.
DPC	Raramente disponíveis em subestação de Transmissão. Além disso, não são o tipo de transdutor recomendado para esse fim e devem ser evitados. NÃO É RECOMENDADO.
DPCR	Altamente recomendável para subestações, onde é necessária a <u>realização frequente de campanhas de QEE ou sua monitoração permanente.</u>
TCB	Altamente recomendável para subestações que não dispõe de transdutores de tensão com adequada resposta em frequência e onde é necessária a realização de <u>eventuais</u> campanhas de QEE.
Não convencionais (Ex: Óticos)	Essas tecnologias emergentes são altamente promissoras em termos de sua precisão para amplas faixas de frequência. Podem ser em um futuro próximo, o tipo ideal de transdutores a serem adotados em subestações, onde é necessária a <u>realização frequente de campanhas de QEE ou sua monitoração permanente.</u>

### 2.3.1.3 Comparações das correntes harmônicas certificadas com as correntes medidas em campo

Um comparativo com as correntes harmônicas fornecidas por um fabricante com aquelas medidas nos aerogeradores de seu próprio fornecimento é um fato interessante e que merece atenção em virtude das diferenças encontradas entre os valores realmente certificados e os medidos. Isso vem a ressaltar a necessidade da



realização da campanha de medição de corrente na saída dos aerogeradores para a validação do estudo de desempenho harmônico. Da Figura 5, verifica-se para ordens harmônicas superiores à 13ª, os valores certificados estão abaixo dos medidos para um teste realizado com aerogeradores de 04 (quatro) parques eólicos. Para as ordens harmônicas menores que a 13ª, as correntes certificadas apresentaram valores maiores para determinadas harmônicas.

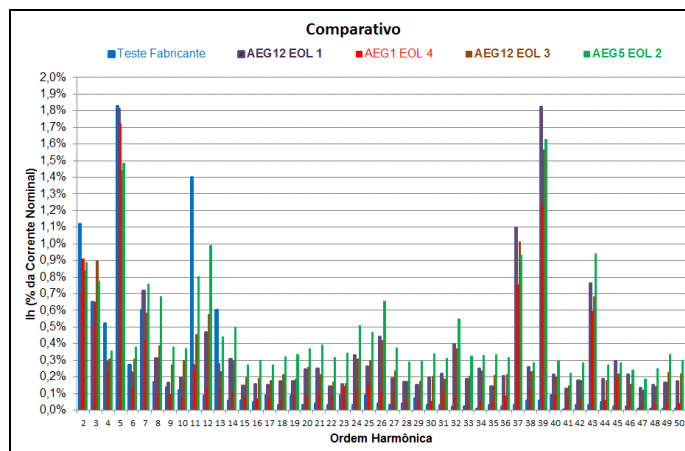


FIGURA 5 – Comparativo entre correntes harmônicas certificadas e medidas

## 2.4 Novas tecnologias aplicadas em parques eólicos

A abertura para novas tecnologias para a redução das correntes harmônicas deve ser visto como avanços da modernização de equipamentos que possibilitam a conexão de novas cargas não lineares à Rede Básica e que, ao mesmo tempo eliminem os efeitos das distorções na forma de onda de tensão inerentemente causados por aquelas cargas. A aplicação de Filtros Ativos tem sido um desses equipamentos para a redução de correntes harmônicas geradas por parques eólicos. Entretanto, algumas precauções devem ser tomadas na especificação e aplicação [6] desses tipos de filtros, pois sua eficiência na filtragem depende de algumas considerações preliminares: uma vez que os TCs dos aerogeradores apresentam uma classe de precisão da ordem, por exemplo de 0,2, os valores de corrente harmônicas abaixo de 0,1% (considerados muito baixos) geram imprecisões e incerteza das medições, e por esse motivo mesmo utilizando transdutores de alta precisão (como 0,1% de precisão), tem-se verificado que a medição no secundário do TC é bastante imprecisa. Dessa forma, os Filtros Ativos devem ser especificados ou mesmo apresentarem uma precisão maior que dos atuais transdutores de alta precisão, pois caso contrário, não será possível aplicar seu princípio básico de funcionamento que é gerar correntes harmônicas de mesma magnitude e em oposição para cancelar as correntes harmônicas medidas. Uma solução para contornar essa situação é a implementação de um controle de malha fechada no filtro, de forma que, a medição de corrente harmônica que flui para o sistema possa ser medida diretamente, com riscos reduzidos de cálculos incorretos de distorção harmônica de corrente, viabilidade de se utilizar TCs de qualquer relação de transformação e com classes 1, além de garantir a segurança e precisão das medições. As observações apontadas anteriormente são imprescindíveis ao se aplicar Filtros Ativos, pois a eficiência da filtragem será mantida ao considerar as recomendações descritas anteriormente.

## 3.0 - CONCLUSÃO

Os atuais e futuros problemas relacionados às interferências na qualidade de energia provocados pelos parques eólicos tem despertado o envolvimento/interação da comunidade do setor elétrico para um aperfeiçoamento das práticas e, consequente aprimoramento dos Procedimentos de Rede no que tange ao gerenciamento do nível de conteúdo harmônico da Rede Básica.

O ONS com objetivo de agregar contribuições oriundas de fabricantes, agentes, consultores, empreendedores associados à implantação de parques eólicos propôs um Grupo de Trabalho junto à ABEólica para a discussão de temas pertinentes ao processo de gerenciamento do conteúdo harmônico gerado por esses tipos de cargas.

Os resultados do Grupo de Trabalho tem sido muito produtivos e alguns pontos de destaque é a avaliação de nova proposta de LG (Polígono de n lados) representativo da rede externa, de forma que o mesmo seja mais otimizado e reflita o real comportamento da Rede Básica. Outras tratativas que foram descritas nesse documento foram o detalhamento do processo das campanhas de medição e dos estudos de desempenho visando um esclarecimento mais detalhado das etapas de cada um. Adicionalmente, às campanhas de medições foi salientado sobre as recomendações que devem ser verificadas quanto aos tipos de transformadores de instrumento disponíveis e recomendados para a realização de medições de qualidade de energia.



Quanto às novas tecnologias empregadas nos aerogeradores para mitigar seus efeitos na distorção harmônica de tensão, as mesmas devem cada vez mais serem empregadas e incentivadas com intuito de preservarem a qualidade da tensão e, por conseguinte, permitir a entrada de novos acessantes à Rede Básica.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RE 2.1 057/2008 - Rev.3, "Instruções para Realização de Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Novos Acessos à Rede Básica" - ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico – [www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)
- [2] Véliz, F. Cl, Varricchio, S. L., Costa, C. O, " Metodologia para a Representação de Redes Elétricas por Polígonos de Admitâncias para Estudos de Impacto Harmônico XXII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Brasília - DF, 13 a 16 de Outubro de 2013.
- [3] "Wind Turbine Generators Systems – Part 21: Measurements and Assessment of Power Quality Characteristics of grid Connected Wind Turbines" - IEC 61400-21
- [4] "Part 3-6 - Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems" - IEC 61000-3-6
- [5] "Método da Superposição Modificado como uma Nova Proposta para Atribuição de Responsabilidades sobre as Distorções Harmônicas", Santos, I. N., Oliveira, J. C., Júnior, J. R. M., Uberlândia-MG - Universidade Federal de Uberlândia.
- [6] "Influência dos Parques Cerro Chato I, II e III no Ponto de Conexão (PAC) e Desempenho dos Filtros Ativos", Meyer, B. T., Carli, M. P., Apresentação Eletrosul no GT ONS-ABEólica - Rio de Janeiro – Agosto de 2014.
- [7] "Instrument Transformers -The Use of Transformer Instruments for Power Quality", IEC/TR 61869-103 Edition 1.0, 05/2015

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Fabiano Andrade de Oliveira nascido em 06/07/1968 em Uberlândia-MG é engenheiro eletricitista (1982) e mestre (1984) em Engenharia Elétrica, ambos pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Trabalhou na ABB Ltda como engenheiro de aplicação e suporte a vendas na área de compensação de reativos (filtros de correntes harmônicas, SVC, SC) e de qualidade de energia e, posteriormente com atividades de consultoria em estudos de acesso à Rede Básica e especialização em compensadores estáticos (SVC). Atualmente é engenheiro especialista no ONS e sua principal área de interesse é sistemas elétricos de potência com ênfase em Qualidade da Energia Elétrica.