



**XXII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GDS/27
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - X

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GDS

QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA NO CONTEXTO DAS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES (SMART GRIDS)

**Gilson Paulillo (*)
INSTITUTO ELDORADO**

**Paulo Ribeiro
INERGE/UNIFEI, TUE**

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise dos desafios e oportunidades relacionados à Qualidade da Energia Elétrica (QEE) a partir da adoção em larga escala das redes elétricas inteligentes (*Smart Grids*). Em um ambiente resultante da inclusão de uma camada de tecnologia da informação e de telecomunicações na rede elétrica, que proporciona diversos benefícios, tais como o elevado nível de automação dos sistemas de medição e da rede de distribuição e integração em larga escala de diferentes tecnologias de geração distribuída, a QEE deve ser avaliada. Neste contexto, o trabalho aborda os principais desafios e oportunidades, destacando-se as variações de tensão, emissão harmônica, processamento de sinais e observabilidade do sistema, dentre outros tópicos importantes para a análise do desempenho dos principais aspectos relacionados a continuidade e conformidade dos sinais de tensão e de corrente.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade da Energia, Smart Grid, Redes Elétricas Inteligentes, Harmônicos

1.0 - INTRODUÇÃO

A Qualidade da Energia Elétrica envolve aspectos relacionados ao fornecimento e disponibilidade da energia, bem como a conformidade do produto, o qual inclui uma gama de fenômenos com diferentes origens, características, impactos na rede elétrica. Estes envolvem setores distintos nos diversos segmentos de geração, transmissão e distribuição. Logo, é de fundamental importância a interpretação de todos os fenômenos, os quais são embasados na disponibilização para processamento dos sinais de tensão e corrente nos pontos de interesse, principalmente nos PAC's (Ponto de Acoplamento Comum), como também dentro das instalações dos próprios consumidores de energia elétrica.

Neste contexto, a implantação em larga escala das redes elétricas inteligentes (REIs) - uma agregação da rede elétrica com a rede de comunicações e controle de informações - apresenta uma oportunidade ímpar para a gestão em alto nível da Qualidade do Fornecimento e da Qualidade do Produto Energia Elétrica. Isto se deve aos benefícios proporcionados pela implantação de uma infraestrutura de tecnologias de informação e comunicação (TICs) à rede elétrica, que proporciona, dentre outros benefícios, elevado nível de automação dos sistemas de medição e de distribuição de energia elétrica, a integração em larga escala de diferentes tecnologias de geração distribuída e de armazenamento de energia elétrica - incluindo a integração dos veículos elétricos -, a implantação de uma ampla camada de comunicação para monitoramento e controle de dispositivos e equipamentos, etc.. O resultado final é a integração de todos os agentes e a produção e consumo de energia de forma plena, eficiente, segura, confiável, ambientalmente sustentável e viável economicamente.

(*) Av. Erico Verissimo, s/n° - Campus Unicamp – Cidade Universitária – CEP 13.083-851 Campinas, SP – Brasil
Tel: (+55 19) 3757-3041 – Fax: (+55 19) 3757-3000 – Email: gilson.paulillo@eldorado.org.br

Questões operativas e de segurança, associadas a sustentabilidade e desenvolvimentos e expansão da rede elétrica estarão presentes na ordem do dia do setor elétrico nos próximos trinta anos. Estimativas globais indicam que até o ano de 2030, o setor elétrico demandará investimentos da ordem de 16 trilhões de dólares, conforme estatísticas da *International Energy Agency*. Destes, somente na Europa serão necessários 500 bilhões de euros na expansão e modernização da infraestrutura de distribuição e transmissão. O objetivo é tornar as redes elétricas mais seguras, confiáveis e ambientalmente compatíveis [1].

Este desafio é consubstanciado pelas tendências de consumo de energia para o futuro, onde a consciência ambiental traz a dependência de maior consumo de fontes renováveis e por tecnologias verdes, associados a um aumento da posse de eletrodomésticos e, conseqüentemente da energia elétrica na matriz. Ademais, o consumidor demandará uma maior interação com os agentes setoriais e de mercado, fará a gestão do seu consumo e buscará maior eficiência energética no seu ambiente, nas suas edificações, na sua locomoção e na sociedade em geral. Isso provocará uma demanda por indicadores de monitoramento e automatização dos sistemas.

Este artigo apresenta por meio de exemplos uma análise dos principais impactos e desafios para a Qualidade da Energia Elétrica no contexto da implantação das redes inteligentes no setor elétrico. Neste sentido, destacam-se os seguintes aspectos:

- Análise das variações de magnitude de tensão, de emissão harmônica e ressonância harmônica em função da introdução em larga escala de novas fontes de geração distribuída, principalmente solar, eólica, térmica a biogás, microturbinas e células a combustível;
- Desenvolvimento de indicadores de desempenho estatísticos e limites associados à capacidade de hospedagem do sistema elétrico para fontes renováveis, que inclui todas as fontes de energia;
- Desenvolvimento de métodos de análise automática para tratar e gerar informação a partir do grande volume de dados gerados pelas REIs. Estes devem incluir o desenvolvimento de ferramentas avançadas de processamento digital de sinais;
- Adoção de técnicas para identificar a emissão, propagação e mitigação de sinais de tensão e corrente em alta frequência, geradas a partir de equipamentos com interface eletrônica. Outros equipamentos que contribuem com emissões nessa faixa de potência incluem certos tipos de geradores eólicos, painéis solar fotovoltaicos, microturbinas, conversores tipo fonte de tensão e outros dispositivos DFACTS. O crescimento deste tipo de equipamento na rede demanda conhecer detalhadamente a emissão e a propagação da forma de onda de distorção em frequências superiores a 2 kHz;
- Adoção de técnicas de agregação de sinais variantes no tempo no PAC produzidos por múltiplas fontes de sinais não lineares;
- Consideração da utilização de técnicas de análise de harmônicos com condições de variação no tempo, de forma a proporcionar mais conhecimento e exatidão quanto aos níveis de distorção, suas fontes e especificação de soluções para mitigação dos problemas associados, principalmente ressonâncias em harmônicas de ordem superior;
- Análise da Qualidade do Produto em Sistemas CC, principalmente alterações na qualidade da tensão devido a transitórios e oscilações. Isto é de muita importância especialmente para cargas de centros de processamento de dados.

2.0 - CONCEITOS DE REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

Usado pela primeira vez em 2005, o termo Smart Grid, doravante Redes Elétricas Inteligentes (REIs), contempla a convergência da aplicação de elementos digitais e de comunicações nas redes de transporte de energia elétrica, proporcionando a efetiva digitalização do sistema elétrico [2]. Neste caso, esta convergência proporciona a disponibilização de um grande volume de dados, gerados a partir de n dispositivos instalados na rede elétrica e que se referem a diversas grandezas de interesse. Estes, devidamente tratados e processados em centros de monitoramento e controle, geram informação estratégica sobre a rede elétrica, auxiliando na operação e controle do sistema como um todo.

Trata-se de um tema amplamente debatido no mundo atual e envolve um conceito de relativa complexidade conceitual, formado por relações dinâmicas, envolvendo não somente a infraestrutura elétrica, de tecnologia da informação e de telecomunicação, como os agentes de governo, mercado, consumidores em geral e demais entidades. Este ambiente considera uma vasta diversidade de tecnologias, de equipamentos e de fabricantes, com uma gama de benefícios associados como inovação tecnológica, desenvolvimento de novos produtos e serviços e novas oportunidades de mercado, atrelados a toda cadeia de provimento e consumo da energia elétrica.

Esta junção entre os dois tipos de infraestrutura – redes elétricas e redes de TI e Telecom – e sua evolução é mostrada na Figura 1.

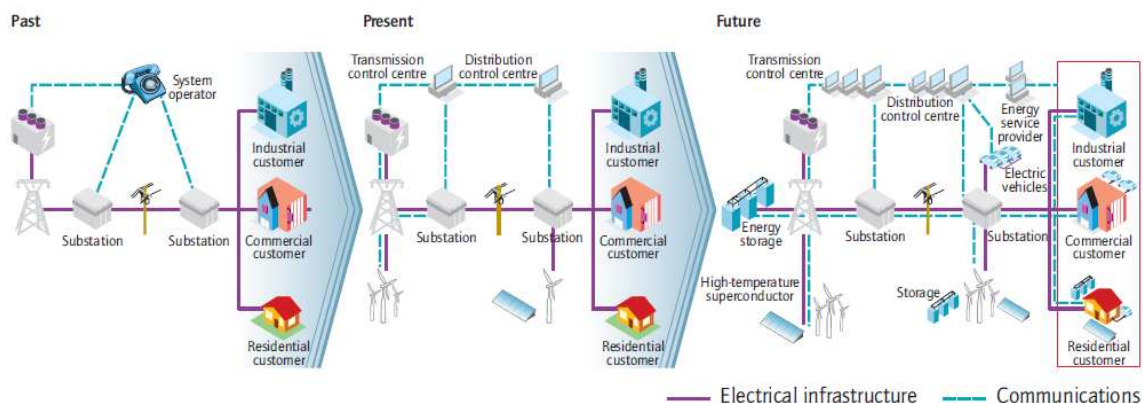


FIGURA 1 – Estrutura de uma REI [3]

A mudança de paradigma proporcionada por esta tecnologia demanda uma série de transformações que passam pela modernização da infraestrutura, definição e instalação de arquitetura de telecomunicação e TI, bem como softwares e capacidade de processamento de dados, que são a essência da rede inteligente. Estes, associados a aplicativos de *Business Intelligence*, são direcionados para atender prioritariamente os seguintes objetivos [3]:

- Reduzir as perdas técnicas e comerciais (fraudes);
- Melhorar a qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras;
- Reduzir os custos operacionais;
- Melhorar o planejamento da expansão da rede;
- Melhorar a gestão dos ativos;
- Promover a eficiência energética;
- Fomentar a inovação e a indústria tecnológica.

Não obstante, este novo ambiente apresenta os seguintes desafios [4]:

- Desenvolver um modelo de mercado;
- Estabelecer padrões de interoperabilidade e de segurança de equipamentos e sistemas;
- Desenvolver novos equipamentos, sistemas de comunicação e aplicações de software para suporte as funcionalidades requeridas;
- Desenvolver e priorizar mecanismos, procedimentos e soluções associadas a cibersegurança;
- Estabelecer políticas e regulamentação;
- Integrar todos os agentes do setor e mostrar a importância das REIs;
- Promover uma política de CT&I de forma a gerar tecnologias nacionais, infraestrutura de pesquisa e disponibilidade de profissionais qualificados nos diversos níveis e temas;
- Promover uma política industrial que garanta a sustentabilidade da cadeia produtiva;
- Prover uma energia com qualidade compatível para uma economia digital.

Um exemplo prático deste desafio é a evolução dos atuais sistemas de medição para sistemas de medição inteligentes, onde devem ser regulamentados e definidos, somente no tocante à continuidade da questão os seguintes aspectos:

- Medição da tensão, energia ativa e energia reativa instantâneas;
- Registro de frequência e duração das interrupções, bem como dos indicadores de nível de tensão (DRP, DRC);
- Capacidade de aplicação de quatro postos tarifários;
- Corte, religamento, parametrização e leitura realizados remotamente;
- Protocolo de comunicação aberto.

3.0 - QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

A Qualidade da Energia Elétrica refere-se a qualquer desvio que possa ocorrer na magnitude, forma de onda ou frequência da tensão e/ou corrente elétrica, que resulte em falha ou operação indevida de equipamentos elétrico. Este conceito inclui uma ampla gama de fenômenos, com características e particularidades intrínsecas que abrangem diversas áreas de interesse de sistemas de energia elétrica, incluindo até problemas relacionados com a comunicação em redes de transmissão de dados.

Este conceito envolve aspectos relacionados à continuidade do fornecimento de energia elétrica, bem como com a conformidade dos sinais de tensão e de corrente presentes no sistema. A interpretação destes fenômenos,

principalmente as distorções de tensões e correntes, localizadas tanto nos PAC's (ponto de acoplamento comum) como também dentro das instalações dos próprios consumidores de energia, estão associadas diretamente a diversos fatores, dentre os quais pode-se mencionar a correção do fator de potência, racionalização do consumo de energia elétrica e o aumento da produtividade em processos industriais que demandam a aplicação em larga escala de dispositivos baseados em eletrônica de potência, microeletrônica e controle.

Os principais fenômenos associados são mostrados na Figura 2.

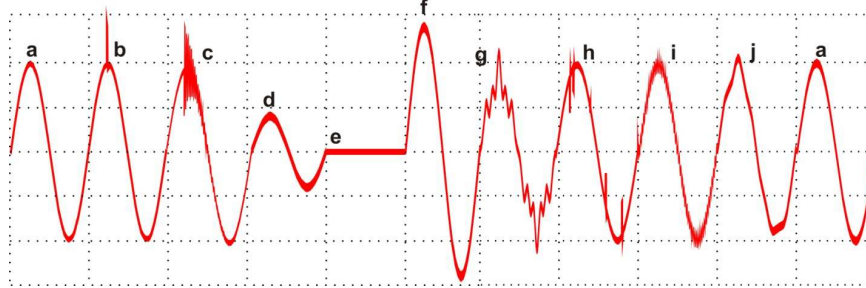


FIGURA 2 – Fenômenos associados à QEE [5]

Onde:

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| a - tensão senoidal | f - salto de tensão |
| b - transitório impulsivo | g - harmônico |
| c - transitório oscilatório | h - corte de tensão |
| d - afundamento de tensão | i - ruídos |
| e - interrupção | j - interharmônicos |

4.0 - QUALIDADE DA ENERGIA E REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

No contexto das REIs, diversas possibilidades podem ser relacionadas a partir da disponibilização de uma grande quantidade de dados de uma determinada rede elétrica, destacando-se, por exemplo:

- Análise de contingências e simulações em tempo real;
- Integração de fontes renováveis e de geração distribuída em larga escala na rede, proporcionando o autoabastecimento total ou parcial de uma residência, comércio ou indústria a partir do aproveitamento da geração de energia solar fotovoltaica, eólica, biogás, etc.;
- Monitoramento, controle e proteção da geração distribuída, incluindo a adoção de mecanismos de anti-ilhamento;
- Monitoramento em tempo real de ativos e do estado operacional de equipamentos da rede elétrica, possibilitando a otimização dos procedimentos de operação e manutenção;

No tocante a Qualidade da Energia, esta configuração apresenta as seguintes preocupações e desafios:

- Monitorar, diagnosticar e responder a todas as demandas de QEE, independentemente da origem dos problemas e da complexidade da solução;
- Proporcionar diferentes níveis de qualidade, com preços diferenciados, no entendimento pleno de que energia elétrica é, sobretudo, um produto;
- Encontrar um equilíbrio entre os indicadores e limites preconizados pelas diferentes normas, ponderando-se o nível de sensibilidade dos equipamentos elétricos e o custo associado à tarifa. No caso de uma economia digital em larga escala, níveis diferenciados de qualidade em função de requisitos de alimentação das cargas elétricas, demanda níveis diferenciados de tarifas;
- Prover soluções para os problemas de QEE devem ser adotadas tanto para as instalações dos clientes quanto a nível de sistema elétrica. Isso se deve ao fato de que o grau de complexidade dos problemas associados a QEE no futuro tendem a aumentar e a busca de soluções mais próximas das fontes perturbadoras deve ser prioritária;
- Desenvolver sistemas inteligentes de monitoramento da QEE a partir da potencialidade proporcionada pela implantação em larga escala de medidores inteligentes na rede elétrica, que agregam funcionalidades importantes em termos de processamento, armazenamento de dados e comunicação com centros de medição, de forma a:
 - Otimizar o investimento na prevenção e mitigação dos problemas de QEE;
 - Estabelecer um benchmark no tocante ao desempenho da rede e das instalações;
 - Definir níveis adequados para a QEE;
 - Atender as necessidades das cargas elétricas no tocante aos diferentes fenômenos;
 - Antecipar eventuais demandas regulatórias.

- Minimizar o impacto da integração em larga escala de geração distribuída à rede elétrica, principalmente a geração solar fotovoltaica, eólica, microturbinas e células a combustível.

Neste contexto, os principais aspectos impactos associados a QEE no contexto das REIs são:

- Controle bidirecional de fluxo de potência ativa e reativa na rede elétrica;
- Regulação de tensão;
- Controle antiilhamento em geração distribuída;
- Sobreensões indesejáveis na rede elétrica;
- Coordenação e seletividade da proteção;
- Harmônicos.

4.1.1 Integração de Geração Distribuída à rede elétrica

Um dos principais efeitos decorrentes da integração em larga escala de geração distribuída à rede é a distorção harmônica dos sinais de tensão e de corrente e tem relação direta com a interface de conexão com a rede. No caso de máquinas rotativas, normalmente a emissão de harmônicos é pequena. No caso de conexões baseadas em dispositivos de eletrônica de potência, a situação é diferente. Muitos inversores utilizados na conexão de painéis solares fotovoltaicos são baratos e de baixa qualidade, resultando em uma injeção significativa de harmônicos de baixa ordem na rede de distribuição.

Esta situação depende de diversos fatores, principalmente na mudança dos parâmetros da impedância da rede, os níveis de tensão de rede da distribuidora, a potência de curto circuito no ponto de conexão e principalmente a quantidade de capacitância adicionada à rede. Neste caso, esta capacitância acionará novas frequências ressonantes e modificarão as ressonâncias dominantes para baixas frequências, provocando a necessidade de estudos adicionais. Esta situação pode ocorrer particularmente em redes de transmissão vinculadas a parques eólicos. Para minimizar este problema, o inversor deve ser capaz de reduzir os níveis de distorção harmônica de tensão, mesmo nos casos em que a potência de curto circuito se reduz. A Figura 3 mostra a geração harmônica resultante da simulação de diversas fontes de GD a uma rede elétrica.

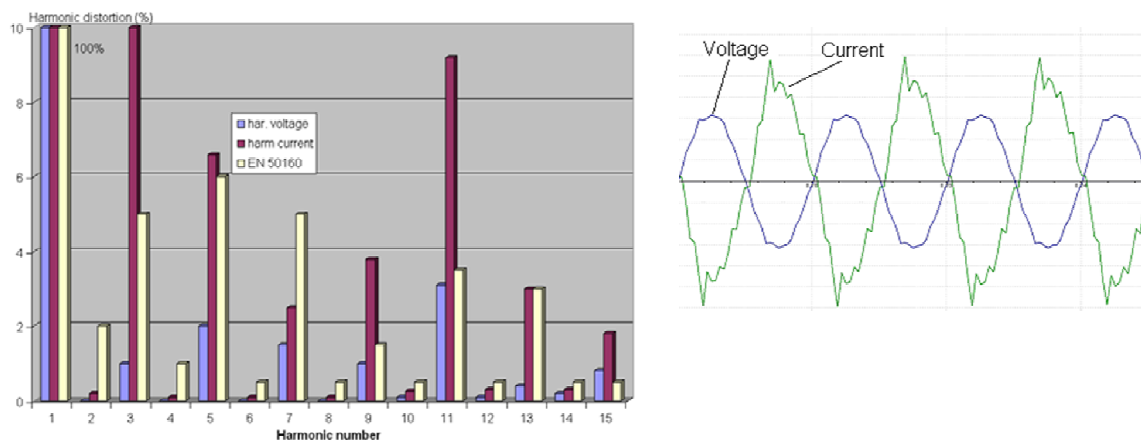


FIGURA 3 – Geração harmônica de GD a rede [6].

4.1.2 Controle bidirecional de fluxo de potência ativa e reativa na rede elétrica

As práticas utilizadas em sistemas de distribuição assumem que não existem outras fontes senão a subestação. Isso significa que o fluxo de potência é da subestação para os alimentadores. A regulação nesta condição é feita tipicamente com o uso de transformadores com comutadores de tap do tipo LTC, instalados na subestação, em conjunto com reguladores de tensão e bancos de capacitores ao longo dos alimentadores. Estes equipamentos são dotados de funções de controle coordenadas para manter a tensão dentro de limites adequados, normalmente em torno de $\pm 5\%$ (conhecido como "ANSI Range A"). Quando a GD é adicionada ao sistema, todas as premissas anteriores entram em colapso, principalmente se a capacidade adicionada ao alimentador for significativa.

Esta situação pode provocar interações indesejáveis com os compensadores de queda de tensão. Se uma GD de grande porte for adicionada ao sistema, por exemplo, logo após o regulador de tensão, esta poderá mascarar o total de corrente visto pelo regulador. Esta situação é mostrada na Figura 4.

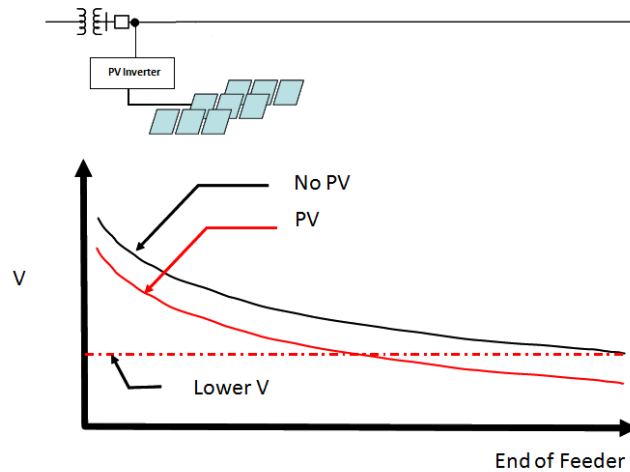


FIGURA 4 – Variação de tensão em um alimentador devido a integração de GD

4.1.3 Regulação de tensão

Painéis fotovoltaicos e geração eólica podem apresentar consideráveis flutuações na potência gerada e provocar variações na magnitude de tensão. A injeção de potência ativa resultará em sobretensões normalmente aceitáveis, conforme mostra a Figura 5. Nesta figura, a injeção de GD provoca elevação dos níveis de tensão, o que indica a necessidade de se adicionar um controle de tensão mais robusto e complexo. Ademais, torna-se necessário um estudo para se avaliar estas sobretensões e seu impacto nos equipamentos dos consumidores a fim de se balancear a integração destes tipos de fontes (renováveis) e o impacto associado.

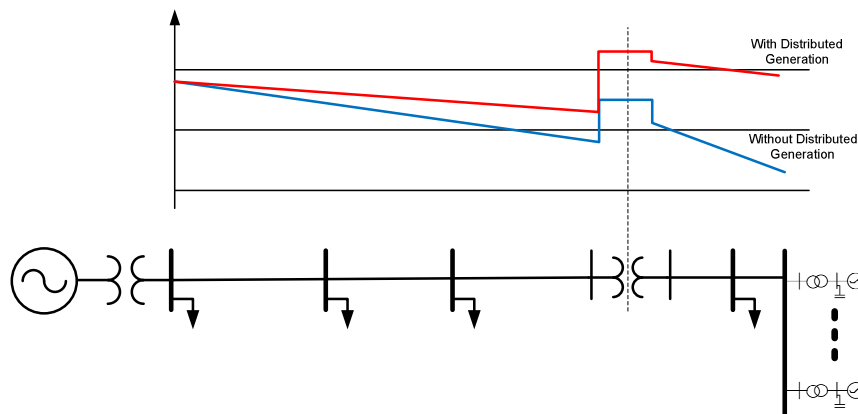


FIGURA 5 – Perfil de tensão de um alimentador de distribuição com GD

As variações na magnitude das tensões ocorrem num período típico entre um segundo e dez minutos. O desafio associado a esta situação é desenvolver modelos estocásticos associados à integração destas fontes, incluindo a correlação em diferentes escalas de tempo e entre geradores em locais distintos.

Esta situação é exemplificada na Figura 6. Nesta, uma medição de 1 segundo das tensões rms é usada como ponto de partida. Considera-se a injeção de potência ativa decorrente da integração de uma geração eólica a um alimentador de 10 kV. A função de distribuição de probabilidade da geração eólica foi calculada para uma turbina de 600 kW para diferentes faixas de potência (neste caso, 1, 2 ou 3 MW). Uma simulação de Monte Carlo foi usada para obter a distribuição de probabilidade da soma de duas variáveis estocásticas (tensão pré vento e elevação da tensão). Os resultados são mostrados na Figura 7, com a potência da geração eólica crescendo da esquerda para a direita. A elevação da magnitude da tensão devido ao crescimento da geração eólica é visível.

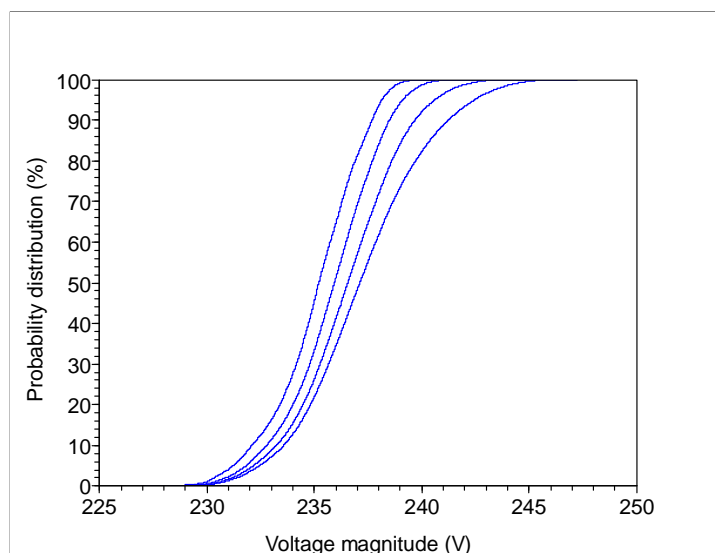


FIGURA 6 - Função de distribuição de probabilidade da magnitude da tensão – esquerda para direita: sem geração eólica; 1 MW de geração eólica; 2 MW de geração eólica; 3 MW de geração eólica

4.1.4 Ilhamento

A ocorrência de ilhamento em redes com forte penetração de GD são indesejáveis pelas concessionárias de energia devido aos seguintes aspectos:

- Segurança de pessoas e instalações – concessionária e consumidor;
- Danos em equipamentos elétricos, tais como chaves, geradores e cargas, em decorrência de religamento de redes em uma condição de falta de fase;
- Equipes manutenção podem encontrar sub-sistemas energizados não intencionais, tornando o trabalho mais perigosos e retardo no processo de recuperação de energia.
- Ilhamentos não intencionais não costumam ter seus geradores configurados com os controles adequados para manter a tensão e frequência para suprimento às cargas dos clientes.
- Considerando que os inversores fotovoltaicos são programados para seguir a tensão do sistema, eles não ajudam a controlar a tensão durante as condições de ilhamento. Em cenários futuros onde o ilhamento fará parte da operação do sistema, os conversores serão programados para controlar a tensão dentro de valores aceitáveis.
- As sobretensões transitórias provocadas por ferroressonância e faltas para terra são mais prováveis durante ilhamentos não intencionais, como por exemplo, um equipamento pode ser isolado com um grande banco de condensadores que podem provocar uma ressonância com as fontes de energia do sistema ilhado.

Esta situação indesejável é mostrada na Figura 7, onde o ramal onde está instalado a GD deve ser desconectado para impedir que esta assuma outras cargas da rede. Para tanto, os ajustes de proteção devem estar coordenados com as demais proteções dos alimentadores [7].

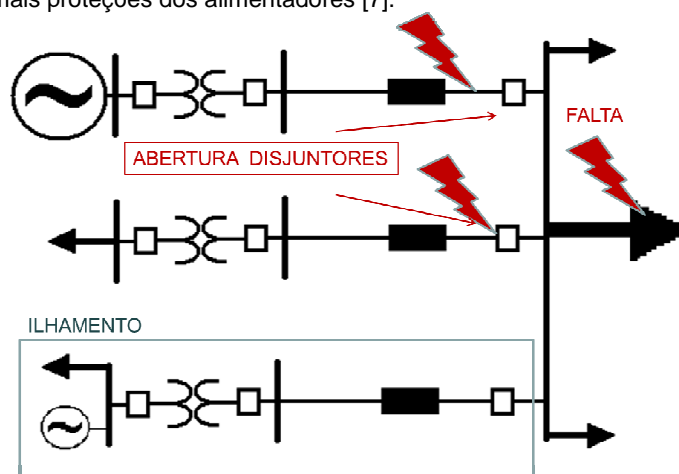


FIGURA 7 – Ilhamento e GD na rede de distribuição [7]

4.1.5 Agregação no PAC de múltiplas fontes não lineares variantes no tempo

A agregação de sinais variantes no tempo produzidas por múltiplas fontes não lineares no ponto de acoplamento comum (PAC) demandará esforços significantes no futuro. Os métodos para agregação da GD, como por exemplo sítios eólicos, definidos na IEC 61400-21, necessitam melhor entendimento, validação e generalização em função dos diferentes tipos de fontes e topologias do sistema elétrico. Esta situação é demonstrada pela Figura 8.

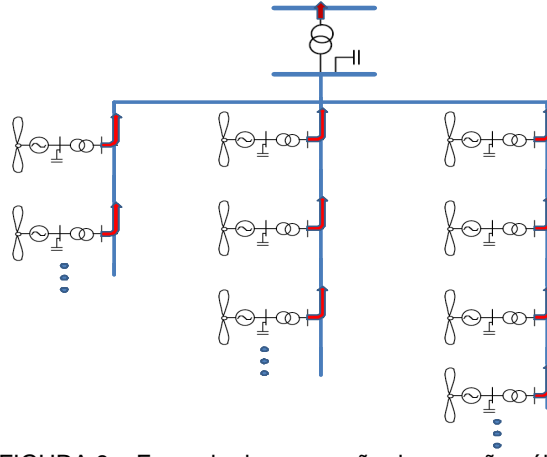


FIGURA 8 – Exemplo de agregação da geração eólica

Como um exemplo de agregação de harmônicos no PAC, a norma IEC 61400-21 propõe a seguinte expressão:

$$I_{h\Sigma} = \sqrt{\beta \sum_{i=1}^{N_{wt}} \left(\frac{I_{h,i}}{n_i} \right)^2}$$

onde: N_{wt} é o número de geradores conectados à rede;
 $I_{h\Sigma}$ é o termo h_{th} da componente harmônica no PAC;
 n_i é a relação de transformação do gerador i^{th} ;
 $I_{h,i}$ é o termo h_{th} da distorção harmônica do gerador i^{th} ;
 β é a constante que depende da ordem harmônica.

Procedimentos e expressões de agregação que determinem as características no PAC e o impacto nas características do sistema, as condições das fontes não lineares, bem como a interação entre estas fontes, são necessárias. Esta situação apresenta desafios de modelagem analítica e computacional, principalmente pelo fato destas múltiplas fontes estarem conectadas eletricamente muito próximas umas das outras.

4.1.6 Processamento de Sinais e Qualidade da Energia

No contexto das REIS, os requisitos de análise de desempenho da QEE da rede elétrica são viabilizados pela utilização de métodos e técnicas de processamento de sinais. Estas serão utilizados para explorar todas as condições proporcionadas pela complexa interação entre as fontes de suprimento, consumidores e operadores das redes. Neste ambiente de interação entre múltiplos agentes, os sinais resultantes são complexos e devem ser monitorados e processados a fim de se determinar o estado e os desenvolvimentos dos dispositivos e sistemas, conforme mostra a Figura 9.

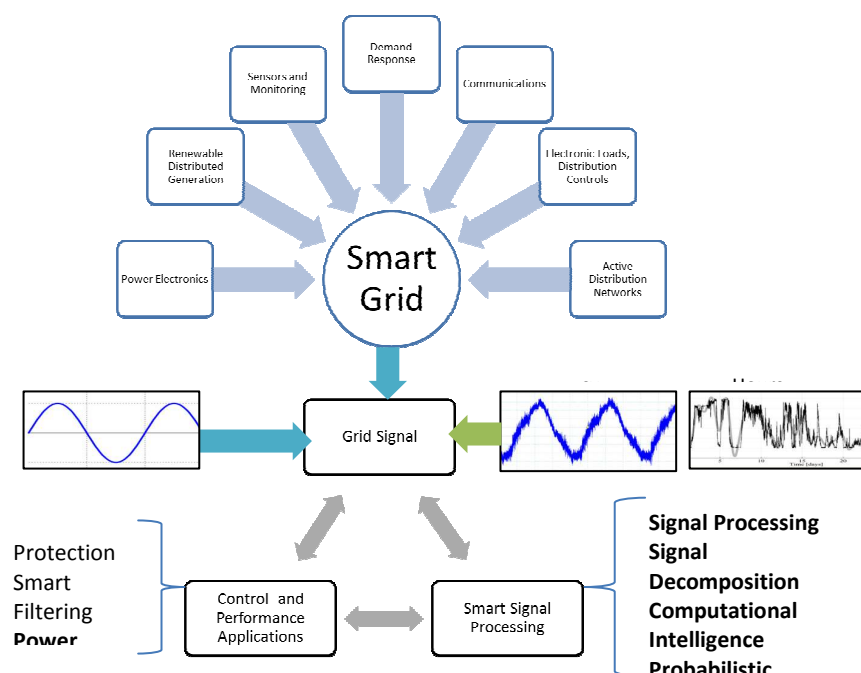


FIGURA 9 – Sinais, Tecnologias e Interações da REI e a Qualidade de Energia Elétrica

Por meio da medição e análise dos sinais em diferentes pontos, o estado da rede pode ser avaliado. Este conceito é mostrado na Figura 10, que mostra como os sinais e os parâmetros de avaliação podem ser processados em etapas sucessivas. O resultado proporcionará ao engenheiro visualizar a natureza das condições variantes no tempo das REIs no tocante aos diferentes aspectos da QEE.

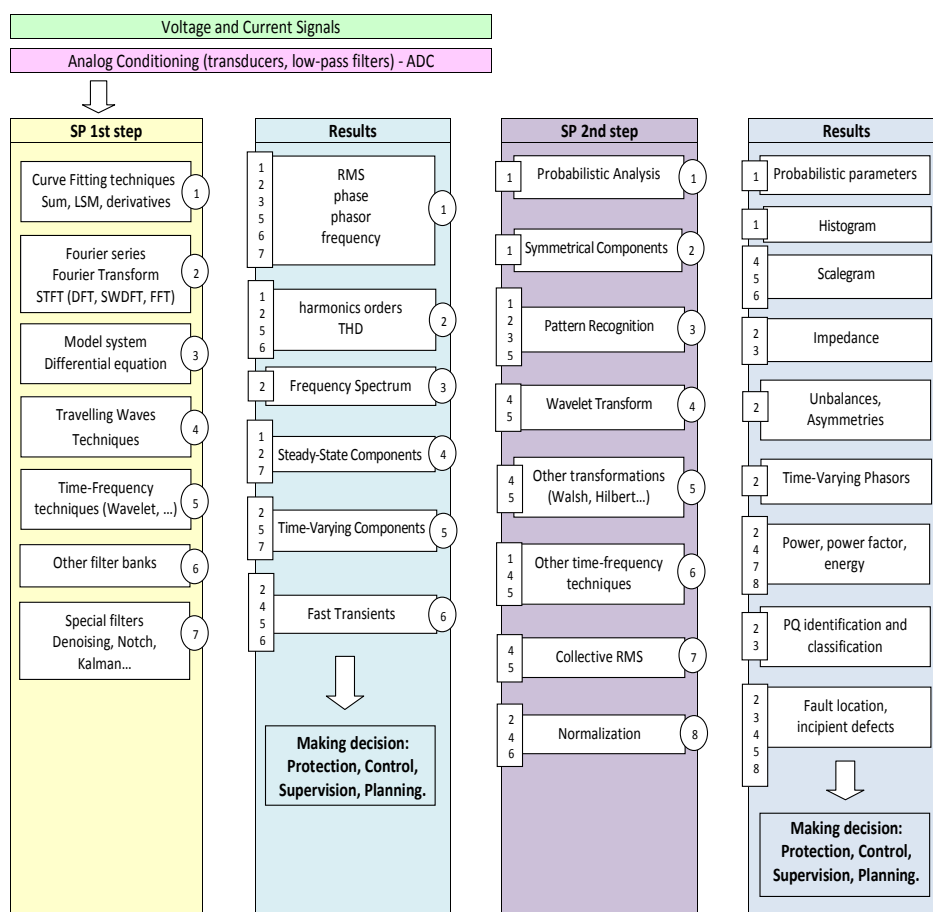


FIGURA 10 – Conceito básico dos sinais e parâmetros que podem ser processados e derivados para a QEE no âmbito das REIs

5.0 - CONCLUSÃO

O interesse e problemas associados com a qualidade de energia tendem a aumentar com o aumento da complexidade e desenvolvimento das redes inteligentes. Este artigo apresenta as principais preocupações e as possíveis soluções para garantir uma qualidade de energia compatível com a complexidade e as características das cargas, a integração em larga escala da geração distribuída e as tecnologias de TI e Telecom associadas às REIs. Dessa forma, abrem-se alternativas para, a partir da alta observabilidade do sistema elétrico, mitigar os problemas associados e dispor de amplo sistema de monitoramento, controle e gestão da qualidade da energia elétrica.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Breuer, W. et al.. "Prospects of Smart Grid Technologies for a Sustainable and Secure Power Supply", 20th World Energy Congress, Rome, Italy, November, 2007.
- (2) Amim, S. M. and Wollember, B. F., "Toward a Smart Grid: Power Delivery for the 21st Century", IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 3, Issue 5, Pages 34 – 41, Sept-Oct. 2005.
- (3) International Energy Agency, "Technology Roadmap – Smart Grid", 2011.
- (4) Ministério de Minas e Energia, "Smart Grid", Relatório do Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes, 2011.
- (5) Paulillo, G., Teixeira, M.D. e Bacca, I.. "Qualidade da Energia Elétrica", 2010.
- (6) Bollen, M.H.J. et. al., "Power Quality Aspects of Smart Grid", International Conference on Renewable Energies and Power Quality – ICREPQ'10, Granada, Spain, March, 2010.
- (7) Paulillo, G., Dreher, J.H., Toyama, J.. "Conexão e Proteção de Geração Distribuída no Sistema de Distribuição", XXI SNPTTE, Florianópolis, Outubro de 2011.
- (8) Ribeiro, P.F., Duque, C.A., Silveira, P.M. e Cerqueira, A.S., "Signal Processing for Smart Grids", Wiley (to be published in 2013).
- (9) Bollen, M.H.J., Ribeiro, P.F., Gu, I.Y.H. and Duque, C. A., "Trends, Challenges and Opportunities in Power Quality Research", In European Transactions on Electrical Power, 2009.
- (10) Duque, C. A., Silveira, P. M., Ribeiro, P.F. e Bollen, M.H.J., "Future Trends and Research Opportunities in Power Quality: An Integrated Perspective". In VIII CBQEE VIII CBQEE Blumenau 2009 - 100-106 Blumenau, Brazil.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Gilson Paulillo – Engenheiro Eletricista, Mestre e Doutor em Sistemas de Potência, na área de Qualidade da Energia Elétrica. Atua há mais de vinte anos no setor elétrico, como engenheiro, pesquisador, professor e consultor no desenvolvimento de tecnologias e soluções associadas às áreas de Qualidade da Energia, Geração Distribuída, Eficiência Energética, Proteção e Distribuição, junto a empresas como COPEL, CPFL, AES, ELEKTRO, CEMIG, COELBA, LIGHT, ITAIPU, etc. Membro dos Comitês de Estudo C4 - Desempenho de Sistemas Elétricos e C6 – Geração Distribuída, do CIGRE Brasil. Atualmente é Consultor Executivo em Energia, do Instituto de Pesquisas Eldorado, em Campinas – SP.

Paulo F. Ribeiro – Formado pela Universidade Federal de Pernambuco e PhD pela Universidade de Manchester, Inglaterra. Engenheiro, pesquisador e professor de engenharia com experiência nos Estados Unidos, Europa e Brasil, nas áreas de eletrônica de potência, qualidade de energia, redes inteligentes, e processamento de sinais em sistemas de potência. Atualmente professor na Universidade de Eindhoven na Holanda. Registrado com Engenheiro Profissional (PE) no estado de Iowa, USA, Europa (EurIng), Fellow do IEEE e Fellow do IET, com mais de 250 publicações.