

## 2. Normatização e Monitoração da Qualidade da Energia Elétrica

### Introdução

Existe uma tendência em rediscutir as normas de âmbito nacional para se chegar a um consenso internacional. As iniciativas nesse sentido partiram dos órgãos que historicamente têm suportado a maior parte da documentação normativa, como o IEEE nos Estados Unidos e, IEC e CIGRÉ na Europa. A convergência talvez venha a ocorrer em longo prazo e, por enquanto, o que se dispõe são normas nacionais (ou regionais, como as vigentes na Comunidade Europeia) ou recomendações internacionais.

No Brasil, algumas normas estrangeiras são adotadas integralmente ou adaptadas parcialmente. A falta de unificação de procedimentos e critérios prejudica os consumidores. Por exemplo, um equipamento, previsto para utilização sob determinadas condições no país de origem, pode apresentar mau funcionamento quando utilizado em uma rede com características e padrões de comportamento distintos.

Grupos de técnicos e especialistas, coordenados pela ANEEL e ONS, têm continuamente trabalhado para se chegar a um conjunto de procedimentos e recomendações aplicáveis tanto no nível da rede básica como das redes de distribuição, para viabilizar os contratos de conexão entre os diversos agentes na nova estrutura do setor elétrico. Os procedimentos na sua versão atual podem ser encontrados nos portais da ANEEL, do ONS e, em alguns casos, no INMETRO.

Outro aspecto importante na distinção dos enfoques regionais das normas é a diferenciação dos procedimentos do IEC e do IEEE. Quando se trata de verificar o impacto das cargas, a filosofia de trabalho da entidade norte-americana se preocupa com o impacto de uma unidade consumidora sobre a rede, sem atenção especial ao que existe internamente na instalação do consumidor (que é “problema dele”). Por sua vez, a visão europeia da IEC faz a regulamentação de cada equipamento (aqueles de maior uso e impacto), buscando o controle individual dos aparelhos que possam ter um impacto negativo em termos de QEE. Essa é uma das dificuldades para a unificação das normas.

### Definições preliminares

a. **Valor eficaz<sup>a</sup>** (RMS – *root mean square*), calculado em um ciclo (T) ou um semiciclo (T/2).

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) \cdot dt} \quad (2.1)$$

- O valor de pico é o valor absoluto máximo instantâneo da grandeza.
- A componente CC é o valor médio (no período) da grandeza.
- Em consequência, uma grandeza CA é aquela que tem nível médio nulo.
- Na forma discreta, é a raiz quadrada do somatório de cada amostra ( $X_N$ ) elevada ao quadrado, dividido pelo número de amostras (N), sendo necessário que as amostras se refiram a um número inteiro de períodos.

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_N X_N^2}{N}} \quad (2.1.a)$$

b. **Fator de potência:** é a relação entre a potência ativa (P), dada em Watts [W] e a potência aparente (S), dada em Volt-Ampère [VA] consumidas por um dispositivo ou equipamento, independentemente das formas que as ondas de tensão e corrente apresentem, desde que sejam periódicas (período T).

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int v_i(t) \cdot i_i(t) \cdot dt}{V_{RMS} \cdot I_{RMS}} \quad (2.2)$$

<sup>a</sup> Representa uma grandeza, ou um valor CC que produziria a mesma dissipação de potência sobre uma carga resistiva.

Tal definição é facilmente aplicável em circuitos monofásicos ou em circuitos polifásicos equilibrados. Em casos desequilibrados, a própria definição de valor eficaz se torna controversa. Tal discussão, no entanto, foge do escopo deste capítulo. Em um sistema com **formas de onda senoidais**, a equação anterior torna-se igual ao cosseno da defasagem entre as ondas de tensão e de corrente:

$$FP_{seno} = \cos \phi \quad (2.3)$$

Quando apenas a tensão de entrada for senoidal, o FP é expresso por:

$$FP_{V_{seno}} = \frac{I_1}{I_{RMS}} \cdot \cos \phi_1 \quad (2.4)$$

onde  $I_1$  é o valor eficaz da componente fundamental e  $\phi_1$  é a defasagem entre esta componente da corrente e a onda de tensão.

Neste caso, a potência ativa de entrada é dada pela média do produto da tensão (senoidal) por todas as componentes harmônicas da corrente (não senoidal). Esta média é nula para todas as harmônicas exceto para a fundamental, devendo-se ponderar tal produto pelo cosseno da defasagem entre a tensão e a primeira harmônica da corrente. Desta forma, o fator de potência é expresso como a relação entre o valor eficaz da componente fundamental da corrente e a corrente eficaz de entrada, multiplicada pelo cosseno da defasagem entre a tensão e a primeira harmônica da corrente.

A relação entre as correntes é chamada de *fator de forma* e o termo em cosseno é chamado de *fator de deslocamento*.

Por sua vez, o valor eficaz da corrente de entrada também pode ser expresso em função das componentes harmônicas:

$$I_{RMS} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} \quad (2.5)$$

Define-se a Distorção Harmônica Total – DHT (em inglês, THD - *Total Harmonic Distortion*) como sendo a relação entre o valor eficaz das componentes harmônicas e o da fundamental.

$$DHT = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.6)$$

Assim, o FP pode ser reescrito como:

$$FP = \frac{\cos \phi_1}{\sqrt{1 + DHT^2}} \quad (2.7)$$

É evidente a relação entre o FP e a distorção da corrente absorvida da linha. Neste sentido, existem normas internacionais que regulamentam os valores máximos das harmônicas de corrente que um dispositivo ou equipamento pode injetar na linha de alimentação.

Várias das especificações de QEE são baseadas em análises estatísticas de um conjunto de dados obtidos durante intervalos de coleta. Todo o processamento é digital.

Considere a análise da DHT de tensão. Os dados são coletados, é feita a análise espectral e o resultado deve ser comparado com o limite da norma. No entanto, são necessárias definições particulares para que o algoritmo de determinação da grandeza possa operar. Por exemplo, é preciso especificar o intervalo de amostragem, quantas amostras devem ser tomadas, como expurgar amostras claramente inválidas, etc.

A norma IEC 61000-4-30 <sup>[1]</sup> (também utilizada como referência pela ANEEL), define o comportamento dos aparelhos utilizados na aferição da QEE. Neste documento, dentre inúmeras outras especificações, prescreve-se que o intervalo básico para obter parâmetros de “magnitude”, a serem usados nas análises de níveis de tensão, harmônicas e desequilíbrio, deve ser de 200 ms (10 ciclos de 50Hz ou 12 ciclos de 60 Hz).

A cada janela de medição de 200 ms produz-se um valor da grandeza de interesse. Tais valores básicos são agregados em intervalos consecutivos de 3 segundos (totalizando 15 amostras básicas). Com isso se produz um novo valor, representado pela média quadrática dos valores básicos. Tais valores de “curtíssima duração” são novamente agregados em um intervalo de 10 minutos, novamente aplicando a média quadrática. Produz-se assim um valor representativo de “curta duração” a cada 10 minutos. Ao longo de um dia serão obtidas 144 amostras e, ao longo de uma semana, serão 1008 valores a serem analisados.

Grande parte das verificações de conformidade utiliza o tratamento estatístico destas 1008 amostras válidas, considerando o percentil 95 ou 99. Ou seja, a grandeza estará em conformidade com o estabelecido se 95% (ou 99%) das amostras estiverem abaixo do limite.

A depender do parâmetro em análise, outros procedimentos podem ser definidos pelas normas, como se verá ao longo do curso.

## 2.1 Padrões brasileiros para avaliação da tensão suprida

Os objetivos dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica <sup>[2]</sup>, são:

- Estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica - QEE, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado.
- Para a qualidade do produto, este módulo define a terminologia e os indicadores, caracteriza os fenômenos, estabelece os limites ou valores de referência, a metodologia de medição, a gestão das reclamações relativas à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão e os estudos específicos de qualidade da energia elétrica para fins de acesso aos sistemas de distribuição (redação definida na Ver. 8, vigente a partir de 2017).
- Para a qualidade dos serviços prestados, este módulo estabelece a metodologia para apuração dos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento a ocorrências emergenciais, definindo padrões e responsabilidades.

Os procedimentos de qualidade de energia elétrica definidos neste módulo devem ser observados por:

- a) consumidores com instalações conectadas em qualquer classe de tensão de distribuição;
- b) produtores de energia;
- c) distribuidoras;
- d) agentes importadores ou exportadores de energia elétrica;
- e) transmissoras detentoras de Demais Instalações de Transmissão - DIT;
- f) Operador Nacional do Sistema – ONS.

Os aspectos de qualidade do produto em regime permanente ou transitório são:

- a) tensão em regime permanente;
- b) fator de potência;
- c) harmônicos;
- d) desequilíbrio de tensão;
- e) flutuação de tensão;
- f) variações de tensão de curta duração;
- g) variação de frequência.

### 2.1.1 Definições dos equipamentos de medição

A Revisão 8 (2017) do Módulo 8 do PRODIST trouxe importantes atualizações em relação aos procedimentos de medição. As versões anteriores traziam definições extremamente inadequadas à correta avaliação de vários distúrbios. Este fato foi superado com a adoção das definições do padrão IEC 61000-4-30. Por exemplo, **nas versões antigas**, os equipamentos de medição para verificação de tensão de regime permanente deveriam atender os seguintes requisitos mínimos:

- a) taxa amostral: 16 amostras/ciclo;
- b) conversor A/D (analógico/digital) de sinal de tensão: 12 bits;
- c) precisão: até 1% da leitura.

Com as mudanças decorrentes da Rev. 8 e a adoção da IEC 61000-4-30 (ou eventualmente de normas brasileiras específicas), foi estabelecido que os equipamentos destinados à avaliação da qualidade da energia devem ser capazes de identificar e mensurar a **totalidade** dos eventos definidos, realizando o processamento de acordo com o prescrito na norma.

O espectro harmônico a ser considerado para fins do cálculo da distorção total deve compreender uma faixa de frequências desde a componente fundamental até, pelo menos, a 40ª ordem harmônica. Nas versões anteriores o limite mínimo era a 25ª harmônica.

Para a obtenção dos níveis de severidade de **cintilação**, associados à **flutuação de tensão**, definidos pelos indicadores  $P_{st}$  e  $P_{It}$ , utilizam-se os procedimentos estabelecidos nos documentos da IEC. Estes valores são derivados da medição e processamento das tensões dos barramentos, traduzidas em níveis de sensação de cintilação luminosa, com posterior classificação em faixas de probabilidade de ocorrência.

Para verificação do **Fator de Potência**, no entanto, os procedimentos continuam tecnicamente inadequados, como se discutirá na sequência.

O valor do fator de potência, de acordo com o descrito nos documentos da ANEEL, deve ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa (P, Q) ou das respectivas energias (EA, ER), utilizando-se as seguintes fórmulas:

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \quad \text{ou} \quad FP = \frac{Ea}{\sqrt{Ea^2+Er^2}} \quad (2.8)$$

### 2.1.2 Uma discussão preliminar sobre “FATOR DE POTÊNCIA” e sua determinação no contexto de geração distribuída

A grandeza Fator de Potência (FP) foi definida em 1922 por Buchholz<sup>[3]</sup>, sendo aplicada a circuitos de corrente alternada. O conceito continua sendo muito usado, praticamente sem alteração de significado<sup>[4]</sup>: “*o fator de potência pode ser interpretado como a razão entre a energia transmitida à carga e a máxima energia que poderia ser transmitida, mantidas as perdas na linha de alimentação*”.

Visto dessa maneira, o FP dá uma ideia do aproveitamento de um alimentador para a efetiva realização de trabalho na carga, em correspondência à potência ativa. O termo associado à potência aparente traz em seu cálculo, além da parcela ativa, também a contribuição de parcelas de potência que não produzem trabalho. Tradicionalmente, em circuitos senoidais e com cargas lineares, essa parcela adicional é denominada “potência reativa”.

Note-se, no entanto, que a equação (2.2) não utiliza a grandeza “potência reativa”, a qual carece de uma definição consensual e tecnicamente consistente em situações em que as formas de onda não sejam senoidais. Situações estas que são cada vez mais comuns, especialmente em redes de distribuição em baixa tensão.

Para o caso trifásico o cálculo pode ser muito mais complexo, especialmente em redes desequilibradas e com distorção. Tal discussão, embora de grande relevância, está além dos objetivos deste texto, de modo que não será aqui aprofundada. Sugere-se a leitura de artigos recentes que tratam de tais estudos<sup>[5, 6, 7]</sup>.

É consensual que a potência ativa é o valor médio da potência instantânea, calculado em um período (T) das formas de onda.

$$P = \frac{1}{T} \int v(t) \cdot i(t) \cdot dt \quad (2.9)$$

O PRODIST define o fator de potência como uma relação que depende da potência ou da energia reativa, como mostra a eq. (2.8). No entanto, não especifica como tal grandeza deve ser medida, o que é um grande problema para formas de onda não senoidais e em casos de desequilíbrio.

A ANEEL define energia elétrica reativa como “aquela que circula entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, expressa em quilo-volt-ampère-reativo-hora (kvarh)”<sup>[8]</sup>. Em tal contexto, todas as componentes espectrais da corrente e que não possuem a respectiva harmônica na tensão, devem ser incluídas dentro de tal parcela. Formalmente esse é um procedimento temerário, senão errado. Isso significa que o conceito de energia reativa é que deve ser revisto.

Observe-se que se trata de um padrão que é aplicável a redes de distribuição, inclusive de baixa tensão, na qual, sabidamente, há forte distorção na corrente, além de desequilíbrios expressivos entre as fases.

Em situações vigentes no passado, em que os consumidores conectados às redes de distribuição simplesmente consumiam energia da rede, essas definições se mantiveram minimamente adequadas (salvo os problemas apontados, principalmente para redes não ideais). No entanto, a partir do momento em que os consumidores também passam a produzir potência ativa, é necessário rever a aplicação do FP como uma figura de mérito que pode, inclusive, penalizar indevidamente o consumidor.

Tipicamente as concessionárias<sup>[9]</sup> exigem que o inversor ligado a uma fonte local (por exemplo, um painel fotovoltaico) opere com elevado fator de potência. Por facilidade de implementação, os fabricantes realizam tais equipamentos com fator de potência unitário, o que atende plenamente as normas.

Considerando a maneira de determinação do FP estabelecida no PRODIST, a produção local de potência ativa leva à redução do FP, podendo, portanto, incidir em penalização ao consumidor!

Após discussões, recentemente a ANEEL, vedou a aplicação de penalização aos consumidores de grupo B<sup>b</sup>. Resta, no entanto, o problema para os consumidores de grupo A<sup>c</sup>, uma vez que a questão é de definição da grandeza e não do tipo de consumidor<sup>[10]</sup>.

Do ponto de vista da rede, o interesse é preservar a qualidade da tensão de suprimento. Esta é afetada pela circulação de corrente associada à parcela de potência reativa, que normalmente leva à redução do valor eficaz da tensão. Tal efeito deletério, no entanto, se relaciona ao valor absoluto de corrente reativa. Ou seja, eventuais restrições poderiam ser aplicadas a partir de algum valor absoluto máximo, e não de uma grandeza relativa, como é o FP. Isso exige uma revisão das normativas.

<sup>b</sup> Grupo B: grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômnia e subdividido nos seguintes subgrupos: a) subgrupo B1 – residencial; b) subgrupo B2 – rural; c) subgrupo B3 – demais classes; e d) subgrupo B4 – Iluminação Pública.

<sup>c</sup> Grupo A: grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômnia e subdividido nos seguintes subgrupos: a) subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV; b) subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV; c) subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV; d) subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV; e) subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV; e f) subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Como muitos códigos de distribuição determinam penalidades para uma excessiva demanda de reativos [11, 12, 13] e esse “excesso” é determinado a partir de valores indicativos de FP ou de potência ativa, é preciso redefinir o método de cálculo.

Uma possibilidade seria simplesmente adicionar ao valor da potência ativa proveniente da rede ( $P_D$ ) a quantidade gerada pela fonte local ( $P_G$ ), pois é um valor conhecido pela medição. Este seria um procedimento mínimo para não penalizar indevidamente o produtor de energia.

$$PF = \frac{P_{tot}}{\sqrt{P_{tot}^2 + Q^2}} \quad (2.10)$$

$$P_{tot} = P_G + P_D \quad (2.11)$$

Um exemplo simples de como os atuais procedimentos de quantificação do fator de potência são inadequados ao cenário de geração distribuída podem ser verificados pela figura 2.1, baseada na simulação do circuito mostrado, que inclui cargas linear e não linear, além de uma fonte de corrente que representa o gerador local, operando com injeção de corrente sob fator de potência unitário.

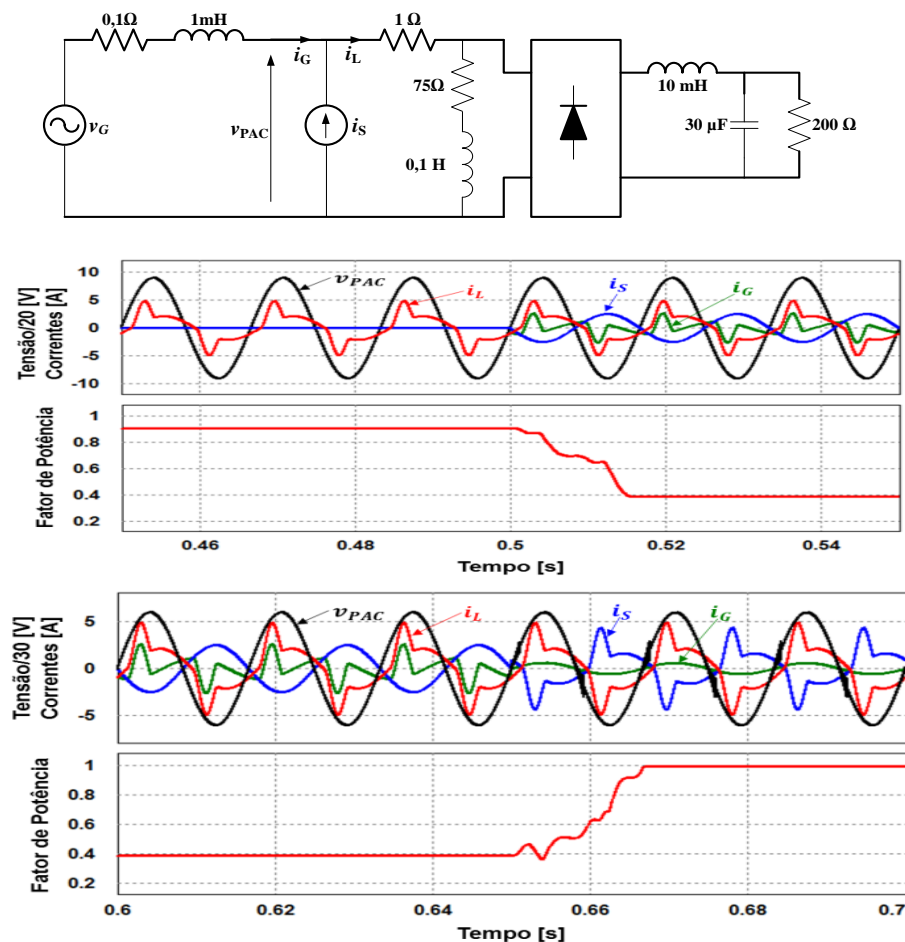


Figura 2.1 Circuito de teste, formas de onda e valor do FP.

O FP *visto* pela rede, inicialmente em 0,9, cai para 0,41 ( $t=0,1\text{ s}$ ), dada a redução da potência ativa fornecida, uma vez que ocorre geração local. De maneira análoga, a Distorção Harmônica Total da corrente,  $DHT_i$  aumenta de 42% para 130%. Mesmo com a deterioração de ambos os indicadores, não há prejuízo algum para a tensão, uma vez que os valores absolutos das componentes harmônicas e reativas continuam os mesmos.

Caso seja permitido ao inversor injetar potência reativa (calculada na frequência fundamental e em conformidade com a demanda da carga), observa-se uma melhoria no FP. Além disso, sendo possível também compensar a totalidade das harmônicas, é possível chegar a um FP unitário (*visto* pela rede).

## 2.2 Comissão Internacional de Eletrotécnica – CEI/IEC

A IEC <sup>[14]</sup> é a organização mundial que prepara e publica padrões internacionais para todas as tecnologias elétricas, eletrônicas e afins. A IEC também gerencia sistemas de avaliação para certificar que os equipamentos, sistemas ou componentes estejam em conformidade com seus padrões internacionais.

Cerca de 180 comitês técnicos (TCs) e subcomissões (SC) realizam o trabalho relativo às normas da IEC. Estes grupos de trabalho são compostos por especialistas de todo o mundo, a maioria vindo da indústria e do comércio, com participação de entidades governamentais, laboratórios de pesquisa, universidades e grupos de consumidores.

A principal tarefa do TC 77 e seus três subcomissões é preparar publicações na área de compatibilidade eletromagnética, EMC, especificando padrões para emissões, imunidade, procedimentos de teste, técnicas de medição, etc.

Subcomissões:

SC 77A: lida com fenômenos de baixa frequência (até 9 kHz);

SC 77B: cuida de fenômenos contínuos e transitórios de alta frequência, incluindo as descargas eletrostáticas, por exemplo;

SC 77C: abrangendo transitórios de alta potência, como os campos EM produzidos por detonações nucleares em altas altitudes.

Tabela 2.1 Normas IEC na área de EMC

<b>LF conducted disturbances</b>			
61000-3-2	PPUB	Am	Limits for harmonic current emissions ( $n \leq 40$ ), $I \leq 16A$ , LV
61000-3-3	PPUB	Am	Limitation of voltage fluctuations & flicker, $I \leq 16A$
61000-3-4	PPUB	TR	Limits for harmonic current emissions ( $n \leq 40$ ), $I \geq 16A$ , LV
61000-3-5	PPUB	TR	Limitation of voltage fluctuations & flicker, $I > 16A$
61000-3-6	PPUB	TR	Limits for harmonic emissions in MV & HV power systems
61000-3-7	PPUB	TR	Limitation of voltage fluctuations & flicker in MV & HV power systems
61000-3-8	PPUB		Emission levels, frequency bands and disturbance levels for signaling on LV installations
61000-3-12	ACD V		Limits for harmonic current emissions, $\leq 75A$ , LV
<b>HF conducted disturbances</b>			
CISPR 11 Amd. 1 and 2	PPUB		Limits for industrial, scientific and medical RF equipment, 0,15-30 MHz
CISPR 14-1 Amd. 1 and 2	PPUB		Limits for appliances for household and similar purposes, 0,15-30 MHz and clicks
CISPR 22 Amd. 1 and 2	PPUB		Limits for IT equipment, 0,15-30 MHz
<b>HF radiated disturbances</b>			
CISPR 11 Amd. 1 and 2	PPUB		Limits for industrial, scientific and medical RF equipment, 30-1000 MHz
CISPR 14-1 Amd. 1 and 2	PPUB		Limits for appliances for household and similar purposes, 30-1000 MHz and clicks
CISPR 22 Amd. 1 and 2	PPUB		Limits for IT equipment, 30-1000 MHz

TR: Technical report

PPUB: Publicação Publicada

Am: em processo de emenda

ACDV: *Draft* aprovado

### 2.3 Associação Brasileira de Normas Técnicas

Fundada em 1940, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) <sup>[15]</sup> é o órgão responsável pela normalização técnica no país.

A ABNT é uma entidade privada, sem fins lucrativos. É a representante no Brasil das seguintes entidades internacionais: ISO (*International Organization for Standardization*), IEC (*International Electrotechnical Commission*); nas entidades de normalização regional COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas) e a AMN (Associação Mercosul de Normalização).

A ABNT não estabelece normas relativas à qualidade da energia elétrica, mas define especificações para **equipamentos** eletro-eletrônicos, incluindo aspectos de fator de potência, emissão de harmônica, etc. A certificação é dada pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia).

Por exemplo, a norma *ABNT NBR 14418:2011-Reatores eletrônicos alimentados em corrente alternada para lâmpadas fluorescentes tubulares - Prescrições de desempenho*, contém especificações para reatores para lâmpadas fluorescentes acima de 60 W, que tem ampla aplicação comercial e industrial (o que justifica o foco nesta potência). A norma indica, dentre outros aspectos, um fator de potência mínimo de 0,95, (o que garante uma baixa distorção harmônica na corrente). Ou ainda a *ABNT NBR 15204:2005 Conversor a semicondutor - Sistema de alimentação de potência ininterrupta com saída em corrente alternada (nobreak) - Segurança e desempenho*, que se refere, dentre outros aspectos, à qualidade da tensão CA de saída de uma fonte ininterrupta de energia.

### 2.4 IEEE Standard Association e ANSI - American National Standards Institute

O IEEE-SA <sup>[16]</sup> é uma entidade que desenvolve normas relacionadas a produtos e serviços, nos setores de telecomunicações, de tecnologia da informação e de geração de energia. Possui uma carteira ativa de cerca de mil e trezentas normas e projetos em desenvolvimento. Embora de caráter predominantemente estadunidense, suas normas e recomendações têm impacto em todo o mundo. As produções do IEEE podem ser adotadas pelas entidades nacionais de normatização, como a ABNT, no caso brasileiro ou a ANSI <sup>[17]</sup>, no caso dos Estados Unidos, assumindo, desta forma, força legal.

Exemplos desta relação são as normas *IEEE 1159-2009 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality* e a norma *SEMI F50-0200 (REAPPROVED 1108) Guide for Electric Utility Voltage Sag Performance for Semiconductor Factories*, originárias de diferentes entidades e tornadas normas nacionais pela ANSI.

### 2.5 International Council on Large Electric Systems – CIGRÉ

CIGRÉ <sup>[18, 19]</sup> é uma organização permanente, não-governamental, sem fins lucrativos, fundada em 1921 na França, que se dedica a tratar aspectos técnicos, econômicos, ambientais, organizacionais e de regulamentação relacionados a sistemas elétricos de grande porte.

Também neste caso não se trata de uma organização normativa, mas seus estudos servem de base para as definições de normas e regulamentações.

Possui organizações nacionais associadas. O Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - CIGRÉ-Brasil é uma sociedade civil, sem fins lucrativos, fundada em 1971, que tem por objetivo promover o intercâmbio e desenvolvimento técnico, tecnológico, e da engenharia no Brasil, no campo da produção de energia elétrica, de sua transmissão em alta tensão e distribuição; abrangendo basicamente:

- Aspectos elétricos e eletromecânicos da geração de energia elétrica;
- Estudos, projetos, construção, operação e manutenção de linhas de transmissão, subestações e equipamentos ou sistemas associados;
- Planejamento eletro-energético de sistemas, isolados ou interligados e sua operação e racionalização ou conservação de energia;



- Telecomunicações, controle e proteção em sistemas elétricos;
- Desenvolvimentos e aplicação de materiais, equipamentos e sistemas eletro energéticos;
- Desenvolvimento e aplicação de métodos e técnicas destinadas à análise e desenvolvimento dos sistemas elétricos de potência;
- Aspectos de regulação e mercado de energia, geração distribuída, meio ambiente e tecnologia de informação.

Dentre os vários comitês de estudo, dois tratam especificamente de aspectos relacionados à qualidade de energia e sua avaliação:

#### **CE-B4 Elos de Corrente Contínua e Eletrônica de Potência**

CCAT: aspectos econômicos, aplicações, aspectos de planejamento, projeto, desempenho, controle, proteção, controle e teste de estações conversoras. Eletrônica de potência para transmissão CA, sistemas de distribuição e melhoria de qualidade de energia: aspectos econômicos, aplicações, planejamento, projeto, desempenho, controle, proteção, construção e teste. Eletrônica de potência elevada: desenvolvimento de novas tecnologias em conversores incluindo controles, novos semicondutores, aplicações destas tecnologias em CCAT, FACTS e qualidade de energia.

#### **CE-C4 Desempenho de Sistemas Elétricos**

Estudos, desenvolvimentos e recomendações de métodos e instrumentos para análises e medições do desempenho de sistemas elétricos relacionado com a Qualidade da Energia Elétrica, Compatibilidade Eletromagnética, Descargas Atmosféricas e Coordenação de Isolamentos.

### **2.6 Normatização de QEE em ambientes especiais**

Aspectos de QEE podem estar presentes em outros ambientes que não as redes elétricas comerciais. Exemplos típicos são os sistemas embarcados em navios, aeronaves ou satélites.

Por exemplo, a STANAG-1008<sup>[20]</sup> refere-se às fontes de energia elétrica em navios de guerra da NATO. Este é um padrão originado da MIL-STD-1399 (NAVY) - Seção 300A<sup>[21]</sup>. Esta norma refere-se, na verdade, à operação normal de navios de guerra e introduziu uma série de questões interessantes sobre QEE.

No campo aeronáutico, tem-se a norma MIL-STD-704<sup>[22]</sup> que estabelece os padrões da qualidade da rede elétrica interna a um avião. Tal rede pode ser CA em 400 Hz, em frequência variável (360 a 800 Hz) ou 60 Hz e ainda redes CC (28 V ou 270 V). A norma RTCA DO-160F<sup>[23]</sup>, por sua vez, estabelece procedimentos para os ensaios dos equipamentos eletro-eletrônicos que são instalados no interior de um avião.

Os conceitos de QEE permanecem essencialmente inalterados. Os limites, no entanto, são adaptados às peculiaridades de cada aplicação.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 
- <sup>[1]</sup> International Electrotechnical Commission - IEC 61000-4-30: Testing and measurement techniques — Power quality measurement methods, 2015.
- <sup>[2]</sup> Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, Revisão 8, vigente a partir de 01/01/2017
- <sup>[3]</sup> F. Buchholz, Die Drehstrom-scheinleistung bei Ungleichmassiger Belastung der Drei Zweige, *Licht und Kraft*, no. 2, pp. 9–11, Jan. 1922.

- 
- [4] IEEE *Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Non Sinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions*, IEEE Std 1459-2010, IEEE Press
- [5] P. Tenti, A. Costabeber, P. Mattavelli, F. P. Marafão, H. K. M. Paredes, [Load characterization and revenue metering under non-sinusoidal and asymmetrical operation](#), *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, 63 (2), 2014, 422-431
- [6] E. H. Watanabe, H. Akagi, and M. Aredes, "Instantaneous p-q Power Theory for Compensating Nonsinusoidal Systems", *Przeegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, vol. 84, no. 6, pp. 28-37, 2008.
- [7] M. Depenbrock, "The FBD-Method, a Generally Applicable Tool for Analyzing Power Relations," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 8, no. 2, pp. 381-387, May 1993.
- [8] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010
- [9] CPFL Energia, *Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica*, 2012.
- [10] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA No. 569, DE 23 DE JULHO DE 2013.
- [11] Essential Service Commission, *Electricity Distribution Code – Version 6*, Australia, January 2011.
- [12] Pacific Power & Light Company, *Schedule No. A-32, General Service 20 kW and Over*, Oregon, USA, June 2015.
- [13] France, *Decision du 5 Juin 2009 relative aux tarifs des réseaux publics de transport et de distribution d'électricité*, Paris, June 2015.
- [14] International Electrotechnical Commission - IEC, acessível em <http://www.iec.ch/>
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, acessível em <http://www.abnt.org.br/>
- [16] The Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE, acessível em <http://standards.ieee.org/>
- [17] American National Standards Institute – ANSI, acessível em <http://web.ansi.org/>
- [18] International Council on Large Electric Systems – CIGRÈ, acessível em: <http://www.cigre.org>
- [19] Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - CIGRÉ-Brasil, acessível em <http://www.cigre.org.br>
- [20] STANAG 1008, *Characteristics of Shipboard Electrical Power Systems in Warships of the North Atlantic Treaty Navies*, NATO , Edition 8, 21 Febr. 1994, Edition 9, 24 Aug. 2004.
- [21] USA MIL-STD-1399(NAVY), *Interface standard for Shipboard systems - Section 300A - Electric Power, Alternating Current*.
- [22] Department of Defense, *Interface Standard, MIL-STD-704F, Aircraft Electric Power Characteristics*, 1991.
- [23] RTCA DO-160F, *Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, Section 16 Power Input*, 2007.