

# COMPARAÇÃO ENTRE MEDIDORES DE QUALIDADE DE ENERGIA FRENTE A MEDIÇÕES DE AFUNDAMENTO, ELEVAÇÃO, DESEQUILÍBRIO E DISTORÇÃO HARMÔNICA DE TENSÃO

ARTHUR M. CARVALHO, FERNANDA P. RIBEIRO, THIAGO H. OLIVEIRA, RODOLFO L. CINTRA, AURÉLIO L. M. COELHO, IVAN P. FARIA, MARCOS R. ARAÚJO

*Unidade Acadêmica 1, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) – Campus de Itabira  
Rua Irmã Ivone Drumond, 200 - Distrito Industrial II, 35903-087, Itabira, MG, Brasil  
E-mails: arthur\_dgais@hotmail.com, nandaapimenta@outlook.com,  
thiago.h.oliveira@hotmail.com,  
rodi00\_3@hotmail.com, aurelio.coelho@unifei.edu.br,  
ivan.faria@unifei.edu.br, marcosraraujo@unifei.edu.br*

**Abstract**— The power quality analyzers are fundamental equipments to measure and investigate the energy quality. Due to their great importance for the power quality studies, it is necessary that the equipments present accurate measurements. Based on this concern, a study was carried out and three meters were compared in relation to the accuracy of their measurements against the voltage imbalance, sag and raising and harmonic distortions.

**Keywords**— Power quality, power quality analyzers, voltage variations, measurements accuracy.

**Resumo**— Os medidores de qualidade de energia, também conhecidos como qualímetros, são equipamentos fundamentais para medições e análises relacionadas a qualidade da energia elétrica. Devido a sua grande importância para a realização destes estudos, é necessário que os qualímetros apresentem elevada exatidão nas medições. Baseando-se nessa preocupação, realizou-se um estudo e comparação de três medidores com relação à exatidão das suas medições frente ao desequilíbrio, afundamento e elevação de tensão e distorções harmônicas.

**Palavras-chave**— Qualidade da energia elétrica, medidores de qualidade, variações de tensão, exatidão das medições.

## 1 Introdução

A utilização de equipamentos e dispositivos que fazem o uso da eletrônica de potência vem crescendo ao longo das últimas décadas, tanto no meio industrial e comercial quanto nos consumidores residenciais (Dugan et al., 2012). A empregabilidade de equipamentos microprocessados e dispositivos eletrônicos têm um impacto na distorção da forma de onda de tensão do sistema. Ao mesmo tempo em que tais equipamentos contribuem para a distorção da forma de onda de tensão, os mesmos também são mais sensíveis às variações na forma de onda senoidal. Deste modo, as preocupações com os temas relacionados a qualidade da energia elétrica (QEE) vem ganhando cada vez mais notoriedade no setor elétrico (Dugan et al., 2012).

Atualmente, o tema qualidade da energia vem se tornando uma preocupação tendo em vista o aumento expressivo da cogeração de energia em baixa tensão, o que pode causar problemas de variações de tensão, elevação da distorção harmônica de tensão, entre outros fatores (Kaspirek et al., 2017). Alinhado a estes problemas, há também a preocupação com o desenvolvimento de novas filosofias de controle de tensão em redes com alta penetração de cogeração fotovoltaica, conforme demonstrado em Vilman e Jerele (2017).

Além dos aspectos da QEE em baixa tensão devido ao crescimento da cogeração, há também as preocupações de eventos relacionados a QEE na operação de sistemas eólicos de geração de energia, princi-

palmente durante eventos de afundamento momentâneos de tensão, conforme destaca Mendes (2009).

Neste contexto, torna-se necessária a medição da qualidade da energia para estudos de casos e desenvolvimento de métodos de mitigação dos possíveis problemas detectados. Essa necessidade de análise e medição para aprimoramento dos sistemas faz com que vários fabricantes de equipamentos elétricos se empenhem no desenvolvimento de qualímetros. Paralelamente, diversos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de estabelecer comparações entre métodos de medição de fenômenos da QEE e comparação de diferentes fabricantes, conforme apresentado em Galvão (2014).

Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo realizado em três medidores presentes no laboratório de QEE na UNIFEI *Campus* de Itabira, onde se observou o comportamento dos mesmos perante a medição de eventos de desequilíbrio, variações de tensão e harmônicos gerados a partir da mala de testes de referência da marca OMICRON, modelo 256 *plus*.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Desequilíbrio de Tensão

A resolução ANEEL (2016) define como desequilíbrio de tensão o fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as tensões de fase e/ou na defasagem elétrica de 120° entre as tensões de fase do mesmo sistema.

A Equação (1) é utilizada para o cálculo de desequilíbrio de tensão.

$$FD_{\%} = \frac{V_{-}}{V_{+}} \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo  $FD_{\%}$  o fator de desequilíbrio percentual,  $V_{+}$  a magnitude da tensão eficaz de sequência positiva na frequência fundamental e  $V_{-}$  a magnitude da tensão eficaz de sequência negativa na frequência fundamental.

A Tabela 1 apresenta os limites de desequilíbrio de tensão regulamentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica.

Tabela 1. Limites para o desequilíbrio de tensão de acordo com a resolução ANEEL (2016).

Indicador	Tensão Nominal	
	$V_N \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_N < 230 \text{ kV}$
$FD_{95\%}$	3%	2%

## 2.2 Afundamento de Tensão

De acordo com o PRODIST (2016), os afundamentos de tensão são divididos em dois grupos: momentâneo e temporário. O afundamento momentâneo é um evento em que o valor eficaz da tensão se reduz para valores abaixo de 90% e acima de 10% da tensão nominal, durante um intervalo de tempo superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a 3 s. Enquanto que o afundamento temporário é definido como o evento em que há redução do valor da tensão eficaz, porém, diferentemente do momentâneo, o intervalo de tempo é superior a 3 s e inferior a 3 min.

## 2.3 Elevação de Tensão

Assim como os afundamentos, as elevações de tensão são divididas em dois grupos: elevação momentânea e temporária de tensão. Na elevação momentânea o valor eficaz da tensão se eleva para valores acima de 110% da tensão nominal, durante um intervalo de tempo superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a 3 s (ANEEL, 2016).

O mesmo acontece para elevação temporária, a diferença que nesse caso o intervalo de tempo é superior a 3 s e inferior a 3 min. (ANEEL, 2016).

## 2.4 Harmônicos

A ANEEL (2016) define como distorções harmônicas os fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental. A partir das Equações (2) e (3) retiradas da ANEEL (2016), é

possível realizar os cálculos de distorção harmônica individual e total, respectivamente.

$$DIT_h \% = \frac{V_h}{V_1} \cdot 100 \quad (2)$$

$$DTT \% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h \max} V_h^2}}{V_1} \cdot 100 \quad (3)$$

Sendo  $DIT_h\%$  o valor da distorção harmônica individual de tensão de ordem  $h$ ,  $DTT\%$  o valor da distorção harmônica total de tensão,  $V_h$  a tensão harmônica de ordem  $h$  e  $V_1$  a tensão fundamental.

## 2.5 Cálculo da Exatidão da Medição

De acordo com VIM (2012), a exatidão da medição é o grau de concordância entre valores medidos que são atribuídos ao mensurando. A Equação (4) é utilizada para obtenção da exatidão.

$$E_{\%} = \frac{V_{Medido}}{V_{Real}} \cdot 100 \quad (4)$$

Sendo  $E_{\%}$  o valor da exatidão do equipamento,  $V_{Medido}$  o valor da grandeza medida e  $V_{Real}$  o valor da grandeza de referência.

## 3 Metodologia

Neste tópico serão abordados os equipamentos e a metodologia utilizada na realização deste trabalho.

### 3.1 Mala de Teste OMICRON

Na realização dos devidos ensaios utilizou-se a mala de testes OMICRON 256 *plus*, a qual forneceu os sinais de referência de tensão para os medidores de QEE. Vale destacar que este equipamento apresenta elevada exatidão e precisão dos sinais gerados (Classe 0,2, erro menor que 0,0015% do valor lido +0,005% do fundo de escala). A Figura 1 apresenta o esquemático da conexão entre a fonte padrão (mala OMICRON) e o medidor de QEE.



Fig. 1. Esquemático da conexão entre a mala de teste OMICRON e os medidores de QEE.

### 3.2 Módulo PQ Signal Generator

O módulo *PQ Signal* é uma interface própria para testes através da OMICRON CMC 256 *plus*. É ideal para a verificação da capacidade e da confiabilidade dos medidores/analísadores de QEE de acordo

com a norma IEC 61000-4-30 (2015). Através desse módulo, é possível configurar a fonte padrão para gerar diversos fenômenos de QEE.

### 3.3 Medidores

#### **Medidor A:**

É um medidor e registrador digital portátil de grandezas em tempo real para sistemas elétricos monofásicos, bifásicos e trifásicos, de baixa, média e alta tensão, onde a conexão com a média e alta tensão deve ser realizada por transformadores de instrumentos adequados. Este equipamento possui três entradas para sinais de tensão, três entradas para sinais de corrente e mais três entradas para grandezas auxiliares definidas pelo usuário. O equipamento possui uma taxa de amostragem de 64 a 128 amostras por ciclo, dependendo do modo de operação escolhido.

#### **Medidor B:**

O medidor B é um dispositivo portátil, que contém quatro entradas para alicates de corrente e cinco entradas para medição de tensões. Este equipamento apresenta uma taxa de amostragem de 200 kS/s. O medidor opera em conformidade com as normas IEC61000-4-30 2003 e IEC/EN61010-1-2001.

#### **Medidor C:**

Trata-se de um equipamento portátil capaz de fazer a análise das características e comportamento da tensão e corrente de um determinado sistema. O equipamento possui três pontas de prova para se fazer a medição de tensão e três pontas de prova do tipo alicate para se efetuar a medição de corrente do sistema. Existe também uma ponte de prova que se deve ligar ao neutro do circuito, quando o mesmo está ligado em estrela, para que não haja interferência da corrente de neutro nos resultados medidos. Possui uma taxa de 256 amostras por ciclo, ADC de 16 bits.

Este equipamento é projetado para preencher os padrões das normas EN50160, EN61000-4-7 e EN61000-4-15.

### 3.4 Eventos

#### **Sinal de Desequilíbrio de Tensão**

O sinal de tensão trifásico desequilibrado gerado pelo módulo *PQ Signal Generator* do *software* da Omicron está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de módulo e ângulo do sinal de desequilíbrio de tensão.

Fase	Amplitude (V)	Ângulo (°)
A	60	0
B	70	-100
C	50	140

#### **Sinal de Afundamento de Tensão**

A Tabela 3 apresenta o módulo da tensão do sinal aplicado, caracterizando o afundamento de tensão. Inicialmente aplicou-se um afundamento na fase A de 9,28 V, em seguida nas fases A e B de 19,28 V e, por fim nas fases A, B e C um afundamento de 24,28 V. Cada evento teve duração de 10 segundos e as fases que não sofreram afundamento em cada evento, continuaram com seu valor eficaz de 69,28 V.

Tabela 3. Valores de tensão aplicados e as respectivas fases

Fase	A	A e B	A, B e C
Tensão (V)	60	50	45

#### **Sinal de Elevação de Tensão**

A Tabela 4 apresenta o módulo da tensão do sinal aplicado, caracterizando uma elevação de tensão. Inicialmente, aplicou-se uma elevação na fase A de 10,72 V, em seguida nas fases A e B de 15,72 V e, por fim nas fases A, B e C uma elevação de 20,72 V. É importante ressaltar que cada evento teve duração de 10 s e as fases que, em cada evento, não sofreram elevações continuaram com seu valor eficaz, 69,28 V.

Tabela 4. Valores de tensão aplicados e as respectivas fases

Fase	A	A e B	A, B e C
Tensão (V)	80	85	90

#### **Sinal com Harmônicos**

O sinal padrão utilizado tem como características um teste monofásico, aplicado somente na Fase A com um valor eficaz de tensão de 69,28 V, uma taxa de distorção harmônica de 20% de 3ª ordem, uma taxa de distorção harmônica de 15% de 5ª ordem, uma taxa de distorção harmônica de 10% de 7ª ordem e uma taxa de distorção harmônica de 5% de 11ª ordem. Os valores percentuais da distorção harmônica estão relacionados ao valor eficaz da tensão padrão. Estas informações e a representação do sinal aplicado podem ser vistas respectivamente na Tabela 5 e na Figura 2.

Tabela 5. Valores do sinal da distorção harmônica aplicado.

DTT: 27,39% - Fase A		
Ordem	Valor Eficaz (%)	Valor Eficaz (V)
3	20	13,856
5	15	10,392
7	10	6,928
11	5	3,464

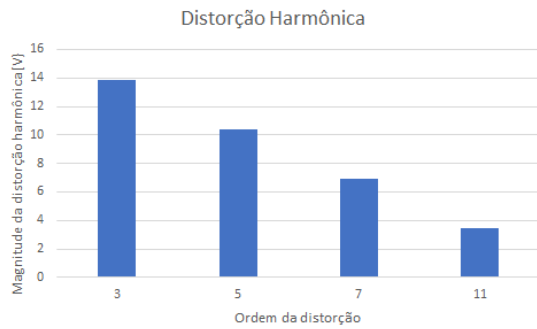


Fig. 2. Representação gráfica da distorção harmônica aplicada.

#### 4 Medições e Comparações dos Resultados

Como citado anteriormente, realizou-se os testes referentes ao desequilíbrio, elevação, afundamento e harmônicos, sendo analisado apenas o comportamento da medição de tensão.

##### 4.1 Ensaio de Desequilíbrio de Tensão

No ensaio de desequilíbrio de tensão, as tensões aplicadas por fase apresentavam desequilíbrios tanto de módulos quanto de ângulos. As tensões foram aplicadas nos medidores por 11,22 s. Na Tabela 6 são apresentados os valores aplicados, as respectivas medições realizadas pelos qualímetros e o cálculo da exatidão da medição.

Tabela 6. Cálculo da exatidão dos medidores para o desequilíbrio de tensão.

	Fase	Valor Aplicado (V)	Valor Medido (V)	Exatidão (%)
Medidor A	A	60 $\angle$ 0°	61,63 $\angle$ 0°	97,35
	B	70 $\angle$ -100°	71,90 $\angle$ -100°	97,35
	C	50 $\angle$ 140°	51,32 $\angle$ 140°	97,43
Medidor B	A	60 $\angle$ 0°	60 $\angle$ 0°	100,00
	B	70 $\angle$ -100°	70 $\angle$ -100°	100,00
	C	50 $\angle$ 140°	50 $\angle$ 140°	100,00
Medidor C	A	60 $\angle$ 0°	59,93 $\angle$ 0°	99,88
	B	70 $\angle$ -100°	69,92 $\angle$ -100°	99,88
	C	50 $\angle$ 140°	49,94 $\angle$ 140°	99,88

A classe de exatidão especificada pelo fabricante do medidor A quanto ao desequilíbrio de tensão é de 2%. Portanto, comprovou-se, através dos ensaios, que o equipamento A não atendeu as especificações declaradas pelo fabricante para a medição de desequilíbrio de tensão.

No medidor B, a classe de exatidão especificada pelo fabricante quanto a variação de tensão e para uma resolução de 0,01 V, é de  $\pm 0,1\%$  da tensão nominal, onde, pelo valor de exatidão calculado neste ensaio, conclui-se que o equipamento atende aos valores especificados.

Para o medidor C, é informada através do seu fabricante, uma precisão de  $\pm 0,1\%$  da leitura e  $\pm 0,05\%$  do fundo de escala. Dessa forma, observa-se também que o medidor C atende as especificações de fábrica.

##### 4.2 Ensaio de Afundamento e Elevação de Tensão

O segundo teste no qual foram submetidos os medidores, foi referente ao afundamento e a elevação das tensões de fase. Foram realizados três testes diferentes para cada evento, sendo eles de natureza monofásica, bifásica e trifásica.

Pelo *software* da mala de testes definiu-se que os módulos das tensões seriam padronizados no valor de 69,28 V por fase. Os afundamentos aplicados foram no valor de 9,28 V (Monofásico – Fase A), 19,28 V (Bifásico – Fases A e B) e 24,28 V (Trifásico – Fases A, B e C). Por meio das Tabelas 7, 8 e 9 pode-se analisar a exatidão dos valores medidos perante os valores injetados pela OMICRON para os testes de afundamento.

Tabela 7. Afundamento de tensão na Fase A.

	Fase	Valor Aplicado (V)	Valor Medido (V)	Exatidão (%)
Medidor A	A	60	59,97	99,95
	B	69,28	69,27	98,98
	C	69,28	69,15	98,81
Medidor B	A	60	60	100,00
	B	69,28	69,3	100,00
	C	69,28	69,3	100,00
Medidor C	A	60	59,94	99,90
	B	69,28	69,19	99,87
	C	69,28	69,20	99,88

Tabela 8. Afundamento de tensão nas Fases A e B.

	Fase	Valor Aplicado (V)	Valor Medido (V)	Exatidão (%)
Medidor A	A	50	49,90	99,80
	B	50	50	100
	C	69,28	69,15	98,81
Medidor B	A	50	50	100,00
	B	50	50	100,00
	C	69,28	69,3	100,00
Medidor C	A	50	49,94	99,88
	B	50	49,94	99,88
	C	69,28	69,21	99,89

Tabela 9. Afundamento de tensão nas Fases A, B e C.

	Fase	Valor Aplicado (V)	Valor Medido (V)	Exatidão (%)
Medidor A	A	45	44,87	99,71
	B	45	44,99	99,97
	C	45	44,91	99,80
Medidor B	A	45	45	100,00
	B	45	45	100,00
	C	45	45	100,00
Medidor C	A	45	44,94	99,86
	B	45	44,94	99,86
	C	45	44,95	99,88

As elevações foram feitas nas faixas de 10,72 V (Monofásico – Fase A), 15,72 V (Bifásico – Fases A e B) e 20,72 V (Trifásico – Fases A, B e C). As Tabelas 10, 11 e 12 apresentam os valores pertinentes aos ensaios de elevação.

O medidor A apresenta, segundo dos dados fornecidos pelo fabricante, uma classe de exatidão de 0,7% para as medições de afundamento e elevação de tensão. Nota-se, por meio dos valores apresentados nas Tabelas 7 a 12, que o medidor atende a classe de exatidão para as fases que sofreram afundamento ou elevação de tensão, sendo que todas as leituras apresentaram um erro relativo menor que 0,7%. No entanto, para as fases sãs, o medidor A apresenta um erro maior que 0,7%.

Tabela 10. Elevação de tensão na Fase A.

	Fase	Valor Aplicado (V)	Valor Medido (V)	Exatidão (%)
Medidor A	A	80	79,95	99,94
	B	69,28	69,27	98,98
	C	69,28	69,14	98,79
Medidor B	A	80	80	100,00
	B	69,28	69,3	100,00
	C	69,28	69,3	100,00
Medidor C	A	80	79,92	99,90
	B	69,28	69,20	99,88
	C	69,28	69,20	99,88

Tabela 11. Elevação de tensão nas Fases A e B.

	Fase	Valor Aplicado (V)	Valor Medido (V)	Exatidão (%)
Medidor A	A	85	84,84	99,81
	B	85	84,99	99,99
	C	69,28	69,14	98,79
Medidor B	A	85	85	100,00
	B	85	85	100,00
	C	69,28	69,3	100,00
Medidor C	A	85	84,91	99,89
	B	85	84,89	99,87
	C	69,28	69,20	99,88

Considerando o medidor B e de acordo com o manual do fabricante para estes tipos de eventos, o equipamento tem uma exatidão de  $\pm 0,2\%$  da tensão nominal e uma resolução de 0,1 V (RMS), para um intervalo de medição de 0% a 200% da tensão nominal. Observa-se, por meio dos valores indicados nas Tabelas 7 a 12, que o medidor B atende a classe de exatidão indicada pelo fabricante.

O medidor C informa uma exatidão de  $\pm 0,1\%$  de leitura, e  $\pm 0,05\%$  do fundo de escala para um intervalo de medição de 10 V a 600 V. Portanto, o medidor C atende as especificações fornecidas pelo fabricante.

Tabela 12. Elevação de tensão nas Fases A, B e C.

	Fase	Valor Aplicado (V)	Valor Medido (V)	Exatidão (%)
Medidor A	A	90	89,81	99,79
	B	90	89,99	99,99
	C	90	89,81	99,79
Medidor B	A	90	90	100,00
	B	90	90	100,00
	C	90	90	100,00
Medidor C	A	90	89,9	99,88
	B	90	89,88	99,86
	C	90	89,9	99,88

#### 4.3 Ensaio de Distorção Harmônica

O terceiro ensaio realizado é relativo a medição da distorção harmônica de tensão. A fonte padrão foi ajustada para fornecer aos equipamentos distorções de tensão de 20%, 15%, 10% e 5%, referentes a 3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup> e 11<sup>a</sup> ordem respectivamente, com um DTT de 27,39%, apenas na Fase A (teste monofásico). A Tabela 13 apresenta os valores aplicados, os medidos e a exatidão calculada para cada medidor analisado.

Tabela 13. Distorção harmônica na Fase A.

Ordem	Magnitude	Fase	Valor Médio	Exatidão (%)	
Medidor A	3	20%	0,00°	20,39%	98,09
	5	15%	0,00°	15,44%	97,15
	7	10%	0,00°	10,61%	94,25
	11	5%	0,00°	5,22%	95,78
Medidor B	3	20%	0,00°	20%	100
	5	15%	0,00°	14,9%	99,33
	7	10%	0,00°	9,8%	98
	11	5%	0,00°	4,9%	98
Medidor C	3	20%	0,00°	19,97%	99,85
	5	15%	0,00°	14,98%	99,88
	7	10%	0,00°	9,98%	99,8
	11	5%	0,00°	4,99%	99,8

A DTT medida pelo medidor A foi de 28,28%. Como não há especificação no manual referente a

exatidão de medições de harmônicos de tensão, não se pode concluir se o equipamento atende as especificações indicadas pelo fabricante.

Para o medidor B, a leitura da DTT foi de 27,30%. A exatidão da leitura dos harmônicos informada pelo fabricante é dada pela Equação (5).

$$\varepsilon_{\%} = \pm 0,1\% \pm h \cdot 0,1\% \quad (5)$$

sendo  $h$  referente a ordem harmônica, e para o DTT uma exatidão de  $\pm 2,5\%$ , apresentando uma resolução de 0,1% para ambos os casos. Para este último ensaio, conclui-se que o medidor está dentro das especificações informadas pelo fabricante.

O medidor C, informa em seu manual que as medições dos harmônicos seguem a norma IEC 61000-4-7, em que a análise dos harmônicos é feita usando uma janela síncrona de 10 ciclos para 50 Hz, ou 12 ciclos para 60 Hz, podendo ser medidos os componentes de até 60<sup>a</sup> ordem. Não é informada a exatidão do equipamento no cálculo da DTT.

## 5 Conclusões

Este trabalho realizou os ensaios de desequilíbrio, afundamento, elevação e distorção harmônica de tensão através da fonte padrão OMICRON 256 *plus* e do módulo *PQ Signal Generator*. Os valores padrões foram aplicados em três diferentes tipos de medidores de qualidade de energia. Os resultados obtidos para a exatidão calculada na medição foram comparados com os dados fornecidos pelos próprios fabricantes dos medidores.

Dentre os medidores analisados, o medidor B apresentou o menor erro de leitura, comparado com os medidores A e C, para os ensaios de desequilíbrio, afundamento e elevação de tensão. Já para os ensaios de distorção harmônica de tensão, o medidor C apresentou as menores incertezas comparadas às calculadas para os demais medidores.

De forma geral, os medidores analisados apresentaram medições dentro da faixa de exatidão indicada pelos seus respectivos fabricantes, com exceção do medidor A que não atendeu a sua classe de exatidão para o desequilíbrio de tensão. Em relação a medição da distorção harmônica de tensão, apenas o fabricante do medidor B apresenta a incerteza declarada no manual do equipamento, sendo que os demais não apresentam tal informação.

Por fim, este trabalho apresenta a importância da avaliação dos qualímetros comercializados nacionalmente, uma vez que tais equipamentos podem indicar valores inconsistentes de leitura, podendo levar a uma análise inconsistente quanto a qualidade da energia elétrica.

## Referências Bibliográficas

- [1] ANEEL (2016). Resolução Normativa Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST.
- [2] Dugan, R. C.; McGranaghan, M. F.; Santoso, S. and Beaty, H. W. (2012) Electrical Power Systems Quality – 3<sup>rd</sup> Edition. McGraw Hill, New York.
- [3] Galvão, T. M. (2014) Análise Comparativa entre Medidores de Qualidade da Energia Elétrica, com Foco na Tensão e Potência. Universidade Federal de Itajubá. Dissertação de mestrado, Itajub, Minas Gerais.
- [4] IEC 61000-4-30 (2015), Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and Measurement Techniques - Power Quality Measurement Methods.
- [5] Kaspirek, M.; Mikulas, L. and Mezera, D. (2017) Analysis of Voltage Quality Parameters LV Distribution Grids with Connected Distributed Energy Sources. CIRED – Open Access Proceedings Journal, Vol. 2017, Issue 1, pp. 513 – 516.
- [6] Mendes, V. F. (2009) Avaliação do comportamento de um sistema de conversão de energia eólica utilizando gerador de indução duplamente excitado durante afundamentos de tensão equilibrados e desequilibrados. Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de mestrado, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- [7] Vilman, A. and Jerele, M. (2017) Voltage Quality Provision in Low-voltage Networks with High Penetration of Renewable Production. CIRED – Open Access Proceedings Journal, Vol. 2017, Issue 1, pp. 2053 – 2056.
- [8] VIM (2012). Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados.