



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

BR/GDS/25  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - X**

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

**A MEDIÇÃO DA FLUTUAÇÃO DE TENSÃO NO CONJUNTO TURBINA E GERADOR EÓLICO, NO ÂMBITO DA CONEXÃO ÀS REDES ELÉTRICAS EXISTENTES**

Alex J. de C. Mello(\*)

Ricardo Penido D. Ross

Cesar V. Moreira Jr.

Cepel

Cepel

Cepel

**RESUMO**

Por suas características particulares, os aerogeradores se comportam de maneira diferente de outras instalações da rede elétrica. A potência gerada depende dos ventos, que têm um comportamento estocástico. Visando uma melhor eficiência e controlabilidade, há uma tendência a usar aerogeradores de velocidade variável e conversores eletrônicos de potência. No tocante à qualidade da energia, a conexão de aerogeradores pode impactar o desempenho do sistema quanto a harmônicos e flutuações de tensão. Este artigo tem por objetivo apresentar requisitos de medição de flutuação de tensão em aerogeradores, segundo a norma IEC 61400-21, e resultados de medição no campo.

**PALAVRAS-CHAVE**

Qualidade de energia, Aerogeradores, IEC 61400-21, Flutuação de tensão, Medição.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A participação da geração eólica nas matrizes energéticas em todo o mundo vem aumentando e deve crescer ainda significativamente nos próximos anos. No Brasil, apesar do predomínio de geração hidráulica, são 59 parques eólicos atualmente em operação com capacidade instalada de 1,5GW. Nos leilões realizados nos últimos dois anos, foram licitados 141 novos empreendimentos, que serão entregues entre 2012 e 2016, com investimentos previstos de R\$ 16 bilhões (1).

É importante enfatizar que tais empreendimentos são localizados em sítios específicos, cujas principais características são possuir um expressivo potencial de geração e que seja possível sua conexão com a rede elétrica existente ou planejada.

Dentre as diversas e complexas questões envolvendo a conexão à rede dos referidos parques destaca-se a análise da flutuação de tensão gerada pelo conjunto turbina e gerador eólico. A flutuação de tensão na rede pode trazer impactos em alguns fenômenos destacando-se a cintilação luminosa das lâmpadas elétricas ("flicker"). A regulamentação atualmente existente impõe condições e requisitos que precisam ser obedecidos tanto em etapa de planejamento como em medições após a construção.

As pulsações de potência injetadas na rede pelo aerogerador, devido a condições de rajadas de vento incidentes e turbulência na turbina eólica, resultam em pulsações de tensão na rede elétrica ao qual o aerogerador está conectado. Além disso, o efeito da sombra causado pela torre, quando da passagem da pá, e as características mecânicas do aerogerador, também podem influenciar nos resultados das medidas de flutuação de tensão.

(\*)Av. Horácio Macedo, 354, Cidade Universitária, 21941-911 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil  
Tel: +55 21 2598-6251 Fax: +55 21 2598-6330 – Email: jean@cepel.br

O objetivo deste trabalho é discutir e conceituar a medição da flutuação de tensão procurando fazer ilações entre o processo clássico (Pst e Plt) com o proposto pela norma IEC 61400-21. Inicialmente, é feita uma breve revisão das principais tecnologias de geração eólica, a forma como elas impactam a qualidade de energia elétrica da rede e sua dependência com a velocidade do vento. Em seguida é apresentada a regulamentação da conexão à rede elétrica, do ponto de vista de flutuação de tensão, praticada atualmente no Brasil, levando em consideração a flutuação medida e simulada em aerogeradores em operação contínua. O item 4 explica a norma IEC 61400-21, apresentando o procedimento que conjuga medição e simulação para avaliação da flutuação de tensão pelos aerogeradores para obtenção dos coeficientes de “flicker”. Por fim, são apresentados alguns resultados de medição no campo.

## 2.0 - TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO EÓLICA E QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

A tecnologia de aerogeradores tem evoluído rapidamente e a cada dia surgem novas configurações de máquinas elétricas, conversores e controladores. A energia elétrica é produzida por geradores elétricos ligados à turbina eólica diretamente ou através de um sistema de transmissão mecânica. A conexão à rede elétrica pode ser feita diretamente ou através de conversores de eletrônica de potência. As combinações destes equipamentos e tecnologias produzem diferentes configurações. As principais configurações são:

- Gerador de Indução Diretamente Conectado à rede (GIDC): em geral, essa tecnologia utiliza geradores do tipo rotor gaiola, um sistema de transmissão mecânica para ligar o gerador à turbina e bancos de capacitores chaveados na conexão à rede;
- Gerador de Indução de Dupla Alimentação (GIDA): são geradores de indução do tipo rotor bobinado, com o estator ligado diretamente à rede elétrica, o rotor alimentado por um conversor eletrônico usualmente do tipo *back-to-back* e um sistema de transmissão mecânica para ligar o gerador à turbina;
- Gerador Síncrono com Conversor de Tensão (GSCT): são geradores síncronos, algumas vezes de ímãs permanentes, com ou sem sistema de transmissão mecânica ligando gerador e turbina, operando em velocidade variável e conectados à rede elétrica através de um conversor eletrônico, usualmente do tipo *back-to-back*.

Qualquer que seja a tecnologia de geração utilizada, uma característica importante dos aerogeradores é o fato da potência gerada ser proporcional ao cubo da velocidade do vento. Cumpre destacar que por limitações técnicas dos materiais e componentes que integram o aerogerador a faixa útil de geração situa-se entre os valores de *cut-in* (3m/s) e *cut-off* (cerca de 20 m/s). A FIGURA 1 mostra um exemplo de curvas de potência de aerogeradores do tipo gerador síncrono com conversor de tensão.

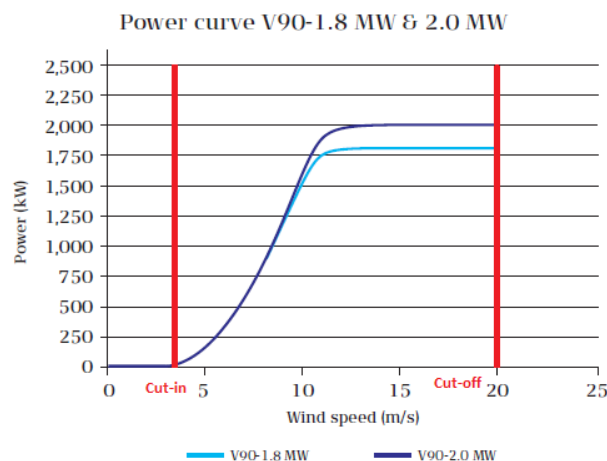


FIGURA 1 - Exemplos de curvas de potência de saída vs velocidade do vento para dois aerogeradores (9).

As séries temporais de medições da velocidade do vento, por sua vez, têm como principal característica uma grande variabilidade em módulo e em direção (11). As variações ocorrem em curta duração, com a ocorrência de rajadas, diariamente e ainda sazonalmente. A FIGURA 2 mostra a variação da velocidade média do vento por trimestre na região de Fortaleza-CE (10).

A variabilidade dos ventos e sua consequente variação de geração de potência, a turbulência, o efeito “sombra” da torre, as operações de chaveamento e as partidas e paradas de unidades podem produzir flutuações de tensões na rede elétrica que têm, como efeito, a cintilação de lâmpadas, podendo causar incômodo visual. Este assunto será abordado neste IT.

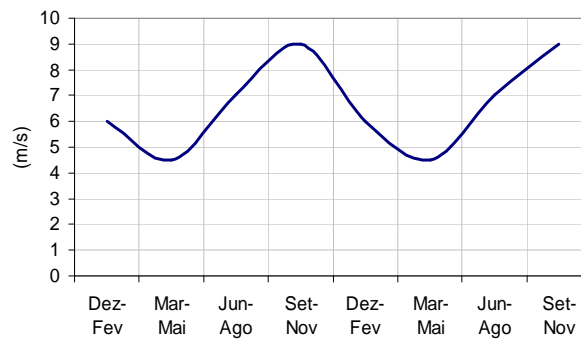


FIGURA 2 - Velocidade Média Trimestral do Vento a 50 m de Altura na Região de Fortaleza-CE

Conclui-se que os níveis de flutuação de tensão introduzidos por um aerogerador são dependentes da variação da potência gerada, que por sua vez depende da variação da velocidade do vento. Assim, a qualidade da energia elétrica associada a um aerogerador depende indiretamente da velocidade do vento. Sua medição deve considerar a velocidade do vento como um parâmetro relevante, seja diretamente, seja através da potência gerada.

### 3.0 - REQUISITOS DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DE ENERGIA PARA CONEXÃO DE NOVOS AGENTES AO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)

Os procedimentos de rede do ONS, em seu módulo 3 (3), definem os requisitos mínimos de novos acessantes à rede básica, nas DIT (Demais Instalações de Transmissão) ou em instalações de transmissão ou de distribuição em tensão superior a 69kV, e trata também das informações para solicitação de acesso que devem ser fornecidas pelo(s) agente(s) gerador(es) eólico(s).

Para a medição da qualidade de energia associada às usinas eólicas, o submódulo 2.8 (4), que trata do gerenciamento do desempenho da Rede Básica, estabelece as principais características referentes a flutuação de tensão:

- Indicadores de flutuação de tensão: são definidos a partir do Pst e Plt obtidos através de medidores que usem o protocolo definido na IEC 61000-4-15 (7). Os indicadores são:
  - PstD95%: maior valor de percentil 95% do Pst, medido diariamente, ao longo de uma semana;
  - PltS95%: percentil 95% do Plt medido ao longo de uma semana;
- São definidos limites globais, que consideram todos os agentes operando simultaneamente e podem ser medidos bem como limites individuais que consideram os efeitos de apenas um agente e só podem ser obtidos por simulação.

O acesso de novos agentes à Rede Básica é tratado no item 15 do submódulo 2.8. Com referência a medição de qualidade de energia os seguintes itens são destacados:

- As campanhas de medição devem ser realizadas por períodos de sete dias;
- Devem ser realizadas campanhas de medição imediatamente antes e após a conexão da usina eólica à Rede Básica.

A referência (12) também estabelece instruções para realizações de estudos e medições relacionados aos novos acessos de geradores eólicos. Porém, do ponto de vista da flutuação de tensão para centrais eólicas, o texto estabelece que deve ser utilizada a metodologia recomendada pela IEC 61400-21 (5) e apresenta uma tabela que deve ser preenchida com dados fornecidos pelo fabricante dos aerogeradores; entre estes dados se destaca o coeficiente de "flicker"  $c(\phi_k, v_a)$  que é comentado no item 4.3, no entanto, a referência (12) não impõe um limite para este indicador.

#### 3.1 Análise comparativa dos requisitos de medição de qualidade de energia

Os Procedimentos de Rede se preocupam em avaliar a qualidade da tensão da rede elétrica, enquanto a IEC 61400-21 avalia a corrente produzida pelos aerogeradores, seja diretamente, caso dos harmônicos, seja indiretamente, caso das flutuações de tensão, como visto na seção 4. Assim, é importante deixar claro que os documentos não são diretamente comparáveis.

A Tabela 1 mostra um resumo da comparação das principais características dos procedimentos e da norma.

Tabela 1 – Comparação dos procedimentos e da norma IEC 61400-21

	Procedimentos de Rede	IEC 61400-21
Objetivo	Qualidade da tensão na rede	Impacto da corrente produzida
Duração	Uma semana	Variável, em função dos ventos
Harmônicos	Tensão até 50ª ordem	Corrente até 50ª ordem
	Corrente até 50ª ordem (para equipamentos não lineares)	Corrente, inter-harmônicos Corrente, alta frequência (até 9 kHz)
Flutuação	Medição de Pst e Plt	Medição de Pst
		Estimação do coeficiente de flutuação
Protocolos	IEC 61000-4-7 (harmônicos)	IEC 61000-4-7 (harmônicos)
	IEC 61000-4-15 (flutuação)	IEC 61000-4-15 (flutuação)

#### 4.0 - MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA DE AEROGERADORES: A IEC 61400-21

##### 4.1 Características da Norma

Para definir e padronizar procedimentos de medição da qualidade de energia associada a aerogeradores, a IEC criou a norma 61400-21, "Medição e Avaliação da Qualidade de Energia de Aerogeradores Conectados à Rede Elétrica" (5). O Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Telecomunicações e Iluminação (Cobei) criou uma comissão de estudo para produzir a norma NBR-IEC 61400-21 (6).

Dentre as particularidades das medições de qualidade de energia em aerogeradores está o fato da duração de uma campanha de medição depender da velocidade do vento. Segundo a IEC 61400-21, é necessário obter certo número de amostras de indicadores de qualidade de energia para cada faixa de vento pré-especificada. A duração da medição dependerá da ocorrência e da variação dos ventos. O esquema de medição de qualidade de energia recomendado pela norma é mostrado na Figura 3.

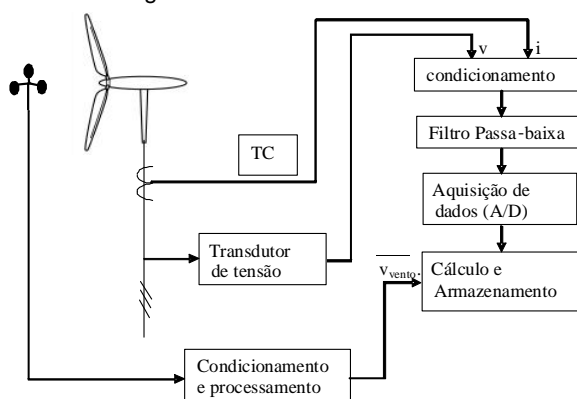


FIGURA 3 - Esquema de medição da qualidade da energia elétrica de um aerogerador segundo a IEC 61400-21

Na figura 3, aparecem esquematicamente o aerogerador, o anemômetro para medir a velocidade do vento e os transdutores de tensão e corrente. Além disso, aparecem os seguintes módulos do sistema de medição:

- Condicionamento de Sinal: fornece isolamento, proteção e interface entre os transdutores de tensão e corrente e o sistema de aquisição e processamento de sinais;
- Filtro passa-baixa: fornece a filtragem anti-aliasing, que evita a sub-amostragem do sinal;
- Aquisição A/D: converte o sinal analógico em digital;
- Cálculo e armazenamento de dados: transforma os dados brutos em indicadores de qualidade de energia.

##### 4.2 Desenvolvimento de um sistema de medição

Conforme resultado dos últimos leilões, as empresas do Sistema Eletrobrás serão integralmente donas de ativos de geração eólica ou através de associações em Sociedades de Propósitos Específicos (SPE) (2). Assim, a capacitação tecnológica é fundamental para a realização de medições da qualidade da energia associada a aerogeradores e avaliação do impacto de usinas eólicas na qualidade da energia da rede elétrica.

Há diversos medidores comerciais de qualidade de energia elétrica disponíveis no mercado que fazem medições de flutuação de tensão e harmônicos de acordo com as normas IEC (7) (8). No entanto, a IEC 61400-21 apresenta particularidades que necessitam de medidores específicos, ainda não disponíveis comercialmente no Brasil. Desde 2009, o CEPEL vem desenvolvendo, com o apoio da CHESF e ELETROBRAS, um protótipo de um medidor /

analisador de qualidade de energia elétrica que atenda aos requisitos da norma IEC 61400-21. Este sistema é projetado para obter indicadores de potências ativa e reativa, flutuação de tensão e harmônicos.

Com relação a avaliação da flutuação de tensão, o medidor foi calibrado em laboratório de forma a se obter valores de Pst compatíveis com a norma (7). Foi também desenvolvida uma rotina de pós-processamento em LabVIEW que faz a análise estatística das séries temporais de tensão e corrente medidas, conforme metodologia indicada pela norma (5). A Figura 4 mostra um diagrama da etapa de processamento e armazenamento de dados, como previstos na norma.

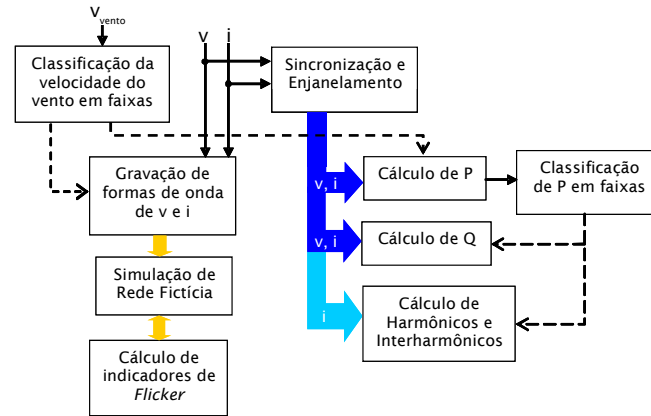


FIGURA 4 - Diagrama do processamento e armazenamento de dados segundo a IEC 61400-21

#### 4.3 Medição e simulação da flutuação de tensão em aerogeradores

Do ponto de vista da avaliação da flutuação de tensão a norma IEC 61400-21 estabelece um processo que consiste na medição de formas de onda de tensões e correntes de cada tipo de aerogerador existente no parque com posterior processamento dos sinais obtidos.

Durante a fase de medição as formas de onda são digitalizadas e armazenadas para posterior processamento. Este processamento é realizado pelo mesmo medidor / analisador e consiste na determinação de uma tensão fictícia que é submetida, juntamente com a corrente medida, a uma rede fictícia para que seja feito o cálculo de Pst de acordo com a norma IEC 61000-4-15. O resultado obtido é normalizado de acordo com o nível de curto-circuito da rede externa e através de um cálculo envolvendo uma ponderação da velocidade do vento, calcula-se o coeficiente de "flicker" do aerogerador. A norma permite também uma extrapolação da influência dos demais aerogeradores presentes no parque. Cumpre destacar, todavia, que este método envolvendo medição e simulação visa minimizar a influência de outras fontes de flutuação de tensão que porventura existam na rede elétrica.

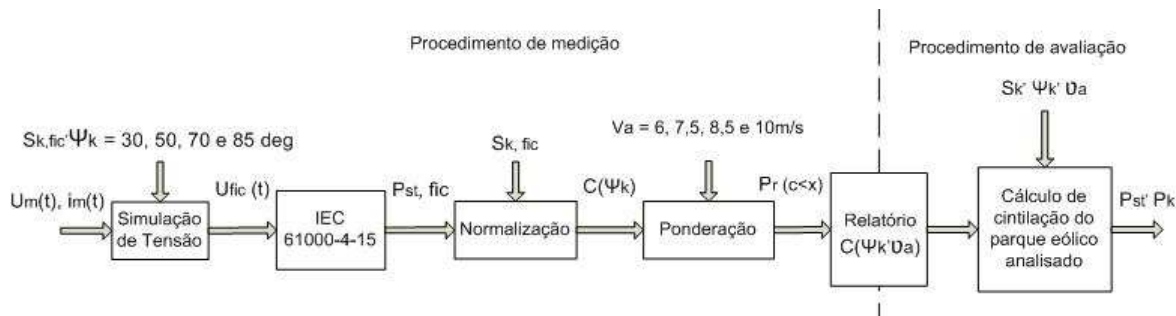


FIGURA 5 – Diagrama de blocos para a classificação de flicker conforme a norma IEC 61400-21.

A Figura 5 apresenta como a flutuação de tensão de aerogeradores em operação contínua é avaliada, de acordo com as seguintes etapas:

- São feitas medições de formas de onda simultaneamente na tensão e na corrente no lado BT do aerogerador ( $v_m(t)$  e  $i_m(t)$ ). A norma exige que sejam obtidas pelo menos quinze séries de 10 minutos (5 medidas por fase) para cada intervalo de 1m/s de velocidade de vento desde 3m/s até 15 m/s.
- A rede fictícia é representada por uma fonte ideal de tensão fase-neutro, com valor instantâneo  $u_o(t)$  que é obtida a partir da tensão medida  $v_m(t)$ , uma fonte de corrente  $i_m(t)$  e uma impedância dada como a resistência  $R_{fic}$  em série com uma indutância  $L_{fic}$ , que representam a rede elétrica. É importante observar que a simulação feita desta forma minimiza a influência da rede elétrica uma vez que a mesma é reduzida a uma resistência e uma indutância. O circuito equivalente é mostrado na Figura 6.
- Os valores de  $R_{fic}$  e  $L_{fic}$  são selecionados de forma a obedecerem as equações (1) e (2). É importante ressaltar que são definidos quatro ângulos:  $\varphi = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$  e  $85^\circ$ .

- A tensão fictícia  $u_{fic}(t)$  é calculada de acordo com a equação (3) para cada uma das séries temporais de  $u_0(t)$  e  $i_m(t)$ . O resultado é analisado pelo “flickermeter” tradicional de acordo com a norma IEC61000-4-15 e desta forma são obtidos os valores de  $Pst_{fic}$  correspondente a intervalos de tempo de dez minutos.
- Os coeficientes de cintilação  $c(\varphi_k, v_a)$  devem ser determinados para cada um dos valores de cintilação calculados, aplicando-se a equação (4) que leva em consideração a potência aparente de curto-circuito da rede fictícia ( $S_{k,fic}$ ) e a potência nominal do aerogerador ( $S_n$ ).
- Um fator de ponderação deve ser determinado para cada intervalo de velocidade do vento, de modo a criar uma escala da frequência de ocorrências dos coeficientes de cintilação que corresponda à suposta distribuição de velocidade do vento (distribuição de Rayleigh).
- O coeficiente de cintilação é determinado como o percentil 99% da distribuição acumulada ponderada dos valores dos coeficientes de cintilação. Isso é feito através do cálculo de  $P_r(c < x)$  e da leitura do 99% percentil daquele cálculo.

O método utiliza as séries temporais de tensão e corrente, obtidas a partir de medição nos terminais do aerogerador, distribuídas no intervalo de velocidade do vento, entre as faixas de “cut-in” até 15 m/s. A figura 6 abaixo mostra esta “rede fictícia” com sua fonte de tensão ideal  $u_0(t)$ , considerando uma potência de curto-circuito adequada  $S_{k,fic}$  e quatro ângulos para a impedância  $\varphi_k$  (30°, 50°, 70° e 85°). A rede fictícia é representada por uma fonte ideal de tensão fase-neutro, com valor instantâneo  $u_0(t)$  e uma impedância de rede dada como a resistência  $R_{fic}$  em série com uma indutância  $L_{fic}$ . O aerogerador é representado pela fonte de corrente  $i_m(t)$ , que é o valor instantâneo medido da corrente de linha do aerogerador. O modelo simplificado gera uma tensão simulada com valor instantâneo  $u_{fic}(t)$  de acordo com a equação 3.

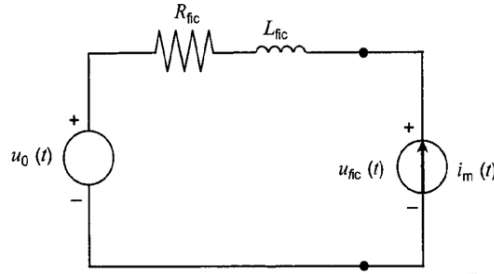


FIGURA 6 – Rede fictícia conforme a norma IEC 61400-21.

A seguir são mostradas as equações para a rede fictícia:

$$\operatorname{tg}(\varphi_k) = \frac{2\pi \times f_g \times L_{fic}}{R_{fic}} = \frac{X_{fic}}{R_{fic}} \quad (1)$$

$$S_{k,fic} = \frac{U_n^2}{\sqrt{R_{fic}^2 + X_{fic}^2}} \quad (2)$$

$$u_{fic}(t) = u_0(t) + R_{fic} \times i_m(t) + L_{fic} \times \frac{di_m(t)}{dt} \quad (3)$$

$$c(\varphi_k) = P_{st,fic} \times \frac{S_{k,fic}}{S_n} \quad (4)$$

Onde  $S_n$  é a potência nominal aparente do aerogerador e  $S_k$  é a potência de curto-circuito da rede considerada.

A norma também permite a estimação do flicker gerado por todo o parque eólico através de agregação das diversas turbinas que compõem o parque, conforme a equação 5 abaixo.

$$Pst_{\Sigma} = \frac{1}{S_k} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i(\psi_k, v_a) \cdot S_{n,i})^2} \quad (5)$$

De acordo com (13) a flutuação de tensão para aerogeradores do mesmo tipo são processos estocásticos idênticos, assim a equação 5 pode ser simplificada dando origem a equação 6 a seguir:

$$Pst_{\Sigma} = \sqrt{N} \cdot \frac{c_i(\psi_k, v_a) \cdot S_{n,i}}{S_k} \quad (6)$$

## 5.0 - RESULTADOS OBTIDOS EM SÍTIO EÓLICO

Para medições da flutuação de tensão segundo a norma IEC 61400-21, foram realizadas avaliações do coeficiente de flicker  $c(\varphi_k, v_a)$ , em função dos ângulos de impedância, das velocidades médias anuais pré-definidas e da velocidade medida do vento. Levou-se em consideração as formas de onda de tensão  $u_m(t)$  e corrente  $i_m(t)$  obtidas durante as medições em um aerogerador no sítio eólico, utilizando-se o protótipo desenvolvido pelo CEPEL.

A Tabela 1 mostra os coeficientes de flicker obtidos para um aerogerador do sítio eólico considerando que a potência de curto-circuito do sistema elétrico no ponto de medição é 50 vezes a potência aparente do aerogerador. Para as relações de curto-circuito de 70 e 90 as células da Tabela 1 são ajustadas proporcionalmente, desta forma observa-se que o valor adotado para a relação de curto-circuito influencia diretamente nos valores dos coeficientes de flicker obtidos.

A Figura 7 ilustra o comportamento do Pst considerando-se os resultados de medições de campo em um aerogerador e com três níveis de relação de curto-circuito. Cumpre destacar que a norma (5) sugere a relação de curto-circuito igual a 50, porém recomenda a utilização da relação real existente no parque eólico.

Tabela 1 - Coeficientes de flicker obtidos considerando-se 99% percentil, com relação de potência de curto circuito em 50.

Sk/Sn = 50				
Va	6m/s	7,5m/s	8,5m/s	10m/s
$\varphi$				
30°	6,53	6,74	6,75	6,75
50°	6,64	6,87	6,89	6,89
70°	6,77	6,99	7,01	7,01
85°	6,81	7,02	7,05	7,05

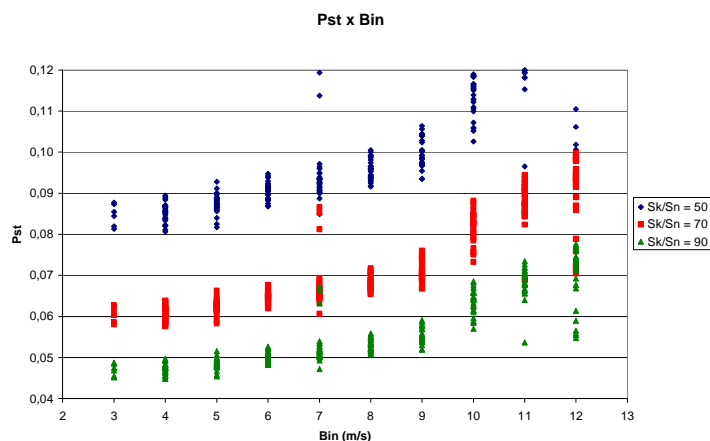


FIGURA 7 - Pst em função da velocidade do vento obtido com medidas com o protótipo.

A Figura 8 mostra os valores obtidos de Pst em um aerogerador. Os pontos em vermelho foram obtidos com o tratamento previsto em (5) e detalhado no item 4.3; os pontos em azul foram obtidos com um “flickermeter” convencional. Observa-se que os valores de Pst de acordo com (5) são bem inferiores. Esta constatação pode ser explicada devido a curva vermelha não considerar a influência da rede nem dos demais aerogeradores presentes no parque eólico, conforme método proposto.

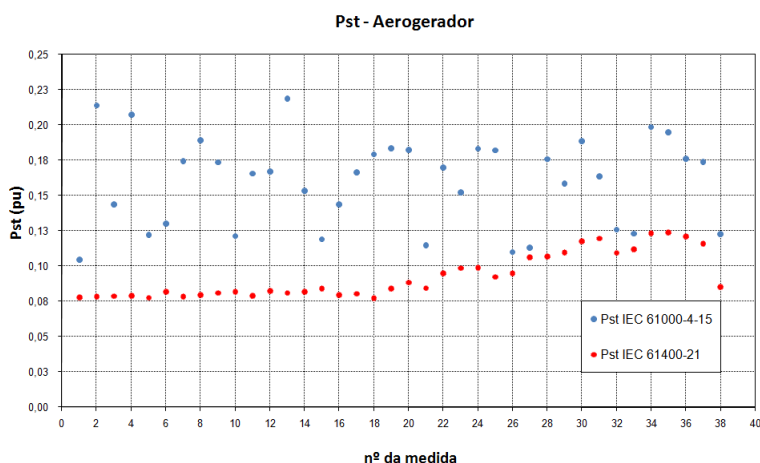


FIGURA 8 - Pst obtido por simulação segundo a IEC 61400-21 (protótipo) para um aerogerador e o medido por um medidor com metodologia IEC 61000-4-15 (medidor convencional).

A Figura 9 mostra os valores obtidos para o Pst considerando o efeito combinado de todos os aerogeradores do sítio eólico, de acordo com a equação (6), comparada com as obtidas por um medidor convencional (IEC 61000-4-15). Observa-se que, neste caso, a flutuação de tensão obtida pelo processo de agregação contido na norma IEC 61400-21 excede em até cinco vezes o obtido pelo “flickermeter” convencional. A Figura 10 mostra a correlação dos valores de Pst considerando ambas abordagens e se verifica-se que a mesma não é elevada.

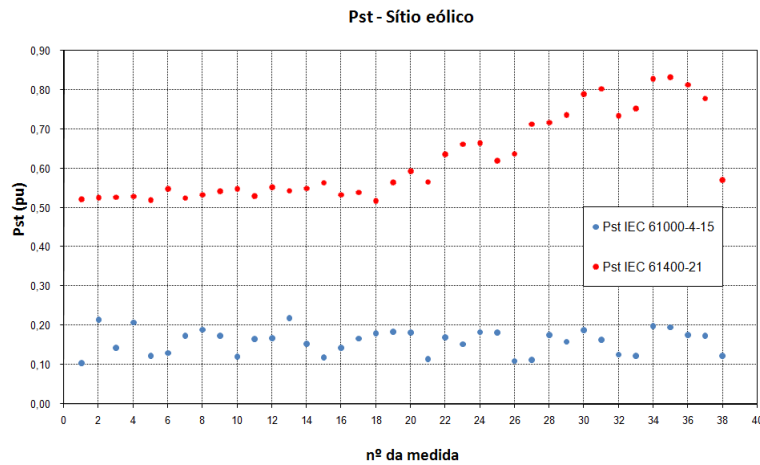


FIGURA 9 - Pst calculado para o sítio eólico através de metodologia da IEC 61400-21 (protótipo) e o medido por um medidor com metodologia IEC 61000-4-15 (medidor convencional).

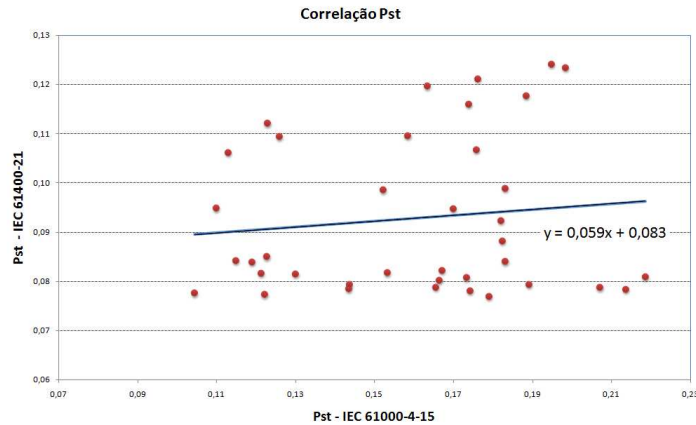


FIGURA 10 – Correlação entre o Pst obtido pelo medidor com metodologia IEC 61000-4-15 (medidor convencional) e o simulado utilizando a rede fictícia com metodologia IEC 61400-21 (protótipo).

## 6.0 - CONCLUSÃO

Os resultados obtidos tanto de Pst quanto de coeficiente de flicker  $c(\phi_{K_V} V_A)$  indicam que a relação entre a potência de curto-circuito da rede e a potência nominal do aerogerador é de extrema importância na obtenção de resultados. Portanto, do ponto de vista da regulação do fenômeno acredita-se que os órgãos reguladores brasileiros deveriam comparar os resultados das avaliações dos coeficientes de flicker, levantados em campo, com os extratos fornecidos pelos fabricantes dos aerogeradores, principalmente no que concerne a correta relação de curto-circuito.

Para um único aerogerador verificou-se que os valores de flutuação de tensão utilizando a metodologia proposta pela norma IEC 61400-21 são menores que os obtidos pela metodologia convencional. Uma das razões pode ser atribuída ao processo de análise em (5) que minimiza as contribuições da rede externa ao aerogerador.

Observou-se ainda que a contribuição resultante para a flutuação de tensão de todos os aerogeradores, segundo a metodologia em (5), é superior àquela utilizando medição convencional. Cumpre destacar que em se tratando de um projeto de pesquisa pioneiro no Brasil não se pode concluir que os resultados obtidos para este caso específico se mantenham para outros sítios eólicos com características diversas de turbina e gerador. Destaca-se, todavia que os resultados obtidos em (13) indicaram relações semelhantes às avaliações de campo documentadas neste artigo.



## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Portal Brasil, disponível no endereço <http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/matriz-energetica/energia-eolica>, 2013.
- (2) GUIMARÃES, A. C. S. L., CARVALHO Fo., P. B. A Geração Eólica e os Desafios para a Operação do Sistema Elétrico Brasileiro. Anais do X EDAO - Encontro Para Debates de Assuntos da Operação, São Paulo, 9 a 13 de novembro de 2008.
- (3) ONS. Módulo 3 dos Procedimentos de Rede, "Acesso aos Sistemas de Transmissão". Disponível em <http://www.ons.org.br>, versão 1.1 setembro de 2010.
- (4) ONS. Submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede, "Gerenciamento dos Indicadores de Desempenho da Rede Básica e dos Barramentos dos Transformadores". Disponível em <http://www.ons.org.br>, versão 2.0 novembro de 2011.
- (5) IEC 61400-21, "Wind turbine: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines", 2nd Edition, 2009.
- (6) NBR-IEC 61400-21, "Medição e avaliação das características da qualidade da energia de aerogeradores conectados à rede", Primeira edição, 2010.
- (7) IEC 61000-4-15, "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 15: Flickermeter - Functional and design specifications", 2008.
- (8) IEC 61000-4-7, "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto", 2008.
- (9) VESTAS. V90-1.8 MW, V90-2.0 MW - Technical Brochure. Disponível em <http://www.vestas.com/en/media/brochures.aspx>, fevereiro de 2010.
- (10) AMARANTE, O. A. C. BROWER, M., ZACK, J., SÁ, A. L. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2001.
- (11) RODRIGUES, G. C. Utilização de Redes Neurais para Previsão de Ventos no Horizonte de 24 Horas, Dissertação de Mestrado, Coppe/UFRJ, 2007.
- (12) ONS RE 2.1 057/2008 rev.3 – "Instruções para Realizações de Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Novos Acessos à Rede Básica". Disponível em <http://www.ons.org.br> janeiro de 2013.
- (13) SORENSEN, P. *et al.*, Validation of the Standard Method for Assessing Flicker from Wind Turbines, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol.26, nº 1, março de 2011.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Alex Jean de Castro Mello**, nascido no Rio de Janeiro em 1965, é graduado como engenheiro eletrônico em 1990 pelas Faculdades Nuno Lisboa. Obteve seu mestrado no ano de 2000 em engenharia elétrica, com ênfase em eletrônica de potência, na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Trabalha no CEPEL desde 1984, onde atualmente atua como Pesquisador. Suas principais áreas de interesse são qualidade de energia e aplicações de eletrônica de potência.



**Ricardo Penido D. Ross**, nascido no Rio de Janeiro em 1954, é graduado como engenheiro eletricitista em 1977 pela PUC-RJ. Obteve seu mestrado no ano de 1982 pela mesma instituição. Trabalha no CEPEL desde 1985, como pesquisador e atualmente ocupa a função de chefe do departamento de Tecnologia de Distribuição. Suas principais áreas de interesse são qualidade de energia elétrica, estudos de sistemas elétricos, tecnologia de distribuição e redes elétricas inteligentes.



**Cesar Vianna Moreira Júnior**, nascido em Brasília-DF em 1983, é graduado como engenheiro eletricitista em 2005 pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ. Obteve seu mestrado em engenharia elétrica no ano de 2011 na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Trabalha no CEPEL desde 2006, onde atua como Pesquisador. Suas principais áreas de interesse são qualidade de energia, confiabilidade e planejamento da expansão de sistemas elétricos, e processamento distribuído.