

QUALIDADE DE GERAÇÃO EÓLICA EM MICROESCALA

Ernesto Guevara Leal Maniçoba¹, elchequimica@gmail.com

Eliel da Costa Pinheiro¹, elieldacosta25@hotmail.com

Jacques Cousteau da Silva Borges¹, cousteau.borges@ifrn.edu.br

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN, Avenida Senador Salgado Filho, 1559 – Tirol, Natal – RN, 59015-000.

Resumo: Este trabalho demonstra um sistema de monitoramento da qualidade de energia produzida por geradores eólicos em microescala. Devido ao crescimento da utilização da energia eólica como alternativa de abastecimento para situações de alta demanda na rede, os problemas que esta fonte gera no que diz respeito a qualidade de energia como flutuação de tensão, distorção harmônica e aspectos de fator de potência devem ser estudados e minimizados. Visando esta necessidade, apresentamos um dispositivo capaz de receber dados de tensão e corrente, e através de um software desenvolvido na linguagem labview apresentar em tempo real ou transmitir via internet informações sobre qualidade de energia, seguindo parâmetros definidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica.

Palavras-chave: Comportamento dos harmônicos, variações de tensão, labview, ANEEL.

1. INTRODUÇÃO

A energia eólica tem se tornado mais atrativa e economicamente viável com o passar dos anos. Em regiões com boas fontes de vento, pode-se tornar tão competitivo quanto recursos convencionais de energia (ABRAMOWSKI, 2000). Podendo ser utilizado como uma fonte auxiliar para a distribuição em situações de alta demanda de consumo.

A utilização da fonte eólica acarreta alguns problemas no que diz respeito a qualidade de energia, que causam distúrbios na rede elétrica, principalmente em sistemas isolados de pequeno porte e em redes fracas (BRITO, 2008). Os principais fatores são elevação ou queda de tensão, flutuações de tensão, cintilação, harmônicos e consumo de potência reativa. Todas essas causas podem ser atribuídas a fatores meteorológicos, do terreno, mecânicos do aerogerador e devido a processos de conversão de frequência.

Para a diminuição dos problemas de qualidade de energia em aerogeradores, dispositivos de correção podem ser utilizados, como filtros para controles de harmônicos e supressores de surto de tensão (LOPEZ, 2013).

Entre os principais problemas de qualidade de energia presentes no processo de geração eólica se destacam a formação de harmônicos que se tornam muito comuns em tecnologias que utilizam conversores de frequência em sua operação de chaveamento (SENRA, 2013).

O sistema para o monitoramento da qualidade de energia em tempo real da geração eólica em microescala permitirá aos especialistas da área observar com mais detalhes o comportamento da variação dos valores de corrente, frequência, tensão e fator de potência, atribuídos a aerogeradores. Podendo definir de forma eficiente quais dispositivos podem melhor se adequar na solução dos problemas.

2. ASPECTOS DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

2.1. Qualidade de Energia na Geração Eólica

De acordo com Leão (2017), pode-se definir qualidade de energia elétrica (QEE) como a condição necessária de um sinal de tensão ou corrente para permitir que os elementos elétricos (seja no sistema elétrico ou até mesmo nos equipamentos) funcionem de forma adequada sem danos a sua vida útil.

Todo procedimento de geração de energia que possui envolvido um sistema de inversor de tensão acaba acarretando ao sistema uma grande diversidade de problemas no que diz respeito a qualidade de energia. Com a diversificação da matriz energética brasileira a ANEEL definiu limites técnicos que devem ser obedecidos para que a energia gerada possa ser distribuída através da rede.

Quando consideramos o sistema de geração eólico, esses parâmetros de qualidade de energia devem ser observados ainda durante o planejamento, tendo em vista que cada unidade geradora individual possui variações devido a motivos climáticos e geográficos (BRITO, 2008).

Pode-se definir os problemas de qualidade de energia como de duração permanente ou transitória. Tendo como impactos leves que não causam grandes danos as cargas e impactos que podem afetar de forma drástica o funcionamento, respectivamente. Despontam como principais problemas de qualidade de energia em sistemas de geração eólica, elevação ou queda de tensão, flutuações de tensão e cintilação assim como a geração de harmônicos e fator de potência.

2.2. Taxa de Distorção Harmônica (TDH)

A distorção harmônica introduzida na rede elétrica pelo uso em larga escala de equipamentos eletrônicos de baixa potência, é atualmente um grande problema global de qualidade e eficiência da rede (LÓPEZ, 2011).

Por padrão equipamentos elétricos são projetados para que seu funcionamento seja baseado em ondas senoidais, estes sinais por sua vez são mantidos quando submetidos a elementos que entregam apenas potência ativa, porém elementos com potência reativa tendem a deformar o sinal senoidal devido a formação de ondas harmônicas.

Tem-se como necessário, a especificação das harmônicas para turbinas eólicas equipadas com sistema conversor eletrônico de potência, tendo em vista que estes são os equipamentos de impacto mais relevante no fornecimento de potência reativa ao sistema. Para estes aerogeradores, a emissão de harmônicas durante o modo de operação contínuo deve ser medida aos terminais da turbina eólica segundo sugere os procedimentos da Norma IEC 61000-4-7 (ESTANQUEIRO, 1999).

Segundo os parâmetros definidos pela ANEEL, em PRODIST (2018), a taxa de distorção harmônica deve ser observada de acordo com a tensão nominal em comparação com a tensão fundamental do elemento de geração, para três situações, as harmônicas pares não múltiplas de três, as harmônicas ímpares não múltiplas de três e as harmônicas múltiplas de três, como apresentado na Tabela 1.

Indicador	Tensão Nominal		
	$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1,0 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT _{95%}	10,0%	8,0%	5,0%
DTT _{p95%}	2,5%	2,0%	1,0%
DTT _{i95%}	7,5%	6,0%	4,0%
DTT _{395%}	6,5%	5,0%	3,0%

Tabela 1: Valores de referência da distorção harmônica para tensão. Fonte PRODIST – módulo 8

2.3. Fator de Potência

O fator de potência é definido como a relação da potência real a potência aparente, ou o cosseno (para onda senoidal pura para corrente e tensão) que representa o ângulo de fase entre as formas de onda de corrente e tensão (Fairchild Semiconductor, 2004).

Em um sistema elétrico cargas com baixo fator de potência, apresentam um consumo elevado de corrente elétrica, que gera um desequilíbrio na rede elétrica, tendo em vista que correntes mais elevadas aumentam a perda de energia durante a distribuição.

Segundo a resolução normativa da ANEEL (2012), o fator de potência de referência, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras dos grupos A e B, o valor de 0,92. A distribuidora deve conceder um período de ajustes para adequação do fator de potência para unidades consumidoras desses grupos, com duração mínima de três ciclos consecutivos e completos de faturamento, objetivando permitir a adequação da unidade consumidora.

3. METODOLOGIA

3.1. Estado da Arte

Com base em estudos na área de QEE, pode-se determinar a forma mais eficiente na qual seria realizada a

implementação do sistema de medição da qualidade de energia.

Em sistema de microescala é amplamente utilizado sistemas de controle como o Droop para regular a frequência e tensão de saída de geradores de acordo com a potência reativa para a diminuição de distúrbios (KHALEDIAN, 2014).

Pode-se notar uma grande preocupação nos estudos de QEE no que diz respeito a atenuar os efeitos de distorções harmônicas logo após a formação das mesmas em elementos de inversão de potência, López (2011) propõe para isso um sistema de controle de lógica difusa que realiza uma diminuição significativa na taxa de distorção harmônica. O sistema de lógica difusa recebe informações de tensão e corrente assim como outros parâmetros para estes testes.

O desenvolvimento de sistemas que possam realizar a avaliação de parâmetros QEE tem sido fortalecido com equipamentos que utilizam softwares em linguagens de programação gráfica, um exemplo foi apresentado por Afonso (2007), com a utilização de sensores de efeito Hall de tensão e corrente, tornou-se possível o desenvolvimento de um software capaz de quantificar diversos aspectos de qualidade de energia.

Pode-se observar em Veloso (2017), a aplicação de uma estratégia para a correção do fator de potência através da implementação de um banco de capacitores que forneceriam potência reativa capacitiva para suprimir a distorção no fator de potência gerado pela potência reativa indutiva gerada por uma unidade armazenadora de grãos. Neste trabalho, é realizada uma medição indireta do fator de potência através do custo adicional no faturamento de energia elétrica fornecido pela concessionária.

Observando a grande preocupação do meio acadêmico no que diz respeito a problemas de qualidade de energia e notando a crescente preocupação em identificar e solucionar estes problemas ainda no ambiente de geração, foi desenvolvido o sistema de medição da qualidade de energia que este trabalho apresenta, foi buscado fabricar um equipamento eficiente e de baixo custo para que estes aspectos possam ser medidos e ações de controle possam ser aplicadas para a amenização. O software em linguagem labview permite uma maior qualidade na aquisição e interpretação dos sinais analógicos gerados pelos sensores.

3.2. Sistema de Medição da Qualidade de Energia

A aquisição dos dados é realizada através de uma placa de circuitos composta por um sensor de corrente ACS712, um transformador de ramificação central 220V para 6+6V e um conversor analógico-digital DAQ NI-6008 de 12 bits da National Instruments que realiza a comunicação e transmissão dos dados para o software desenvolvido através de um cabo de dados do tipo USB 2.0, como é demonstrado na Figura 1.

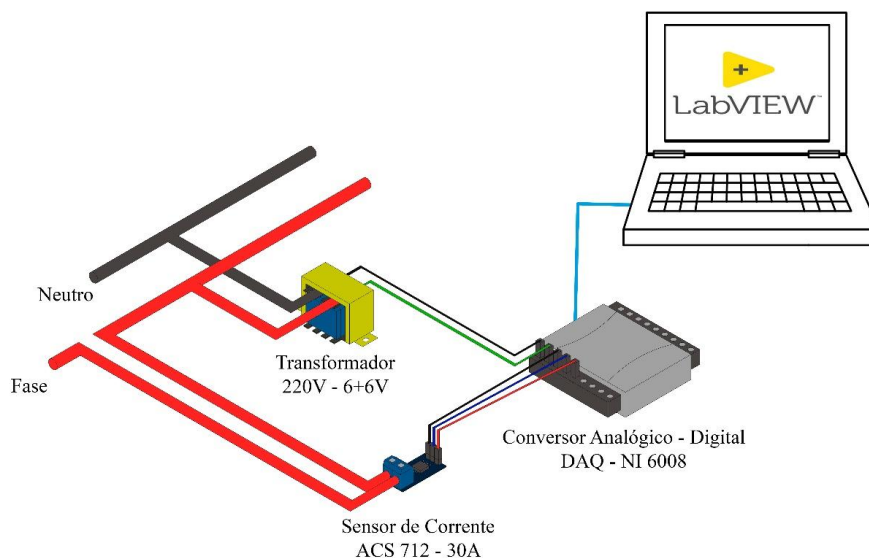


Figura 1: Esquema geral do funcionamento da placa de circuitos.

3.3. Desenvolvimento e Aplicações

Nos testes realizados, foi utilizado um gerador eólico de 1kW de potência instalada com seu pico de desempenho em ventos de velocidade entre 5 m.s^{-1} e 9 m.s^{-1} , velocidades essas que são facilmente conseguidas na região na qual o mesmo foi instalado, na cidade Natal/RN, bairro do Tirol. A energia proveniente deste gerador era submetida a um inversor de corrente de 1kW.



Figura 2: Equipamentos utilizados na geração de energia (Laboratório de Física – IFRN)

A energia gerada pelo sistema demonstrado acima era submetida aos testes de qualidade pelo sistema de monitoramento, para então ser levado até a carga. Os testes foram realizados em cargas resistivas e indutivas, para avaliar a relevância das mesmas em fatores de qualidade de energia, a Figura 3 apresenta uma visão geral do procedimento realizado.

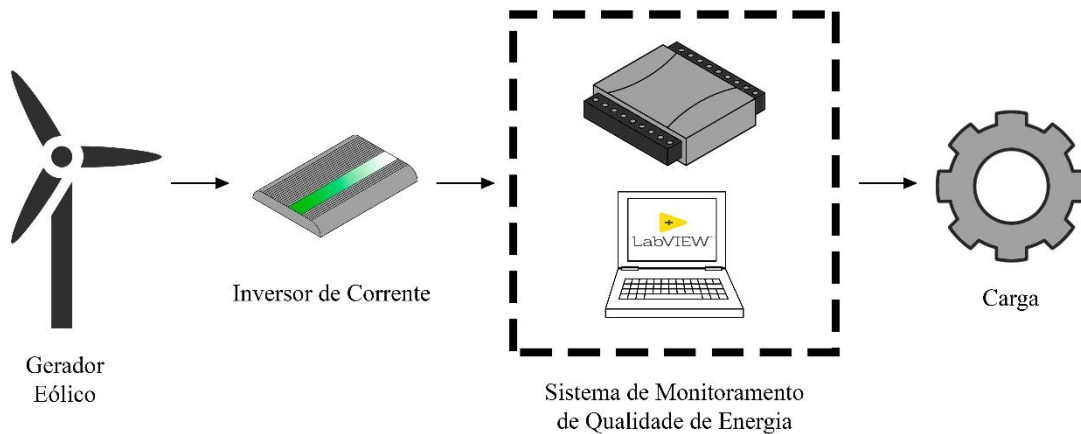


Figura 3: Visão geral do processo de testes realizado.

Medidas para o acompanhamento da qualidade da energia elétrica são necessários para monitorar e identificar as cargas e fontes poluidoras do sinal, suas influências nos componentes do sistema e estabelecer correções (SENRA, 2013). Com parâmetros de qualidade de energia fornecidos pela ANEEL, foi desenvolvido um software na linguagem labview que tem como principal função apresentar em tempo real os dados de tensão e corrente captados do aerogerador e com base nestes dados apresentar informações de qualidade de energia como taxa de distorção harmônica. De acordo com os resultados obtidos o software pode indicar o nível de qualidade através do painel frontal.

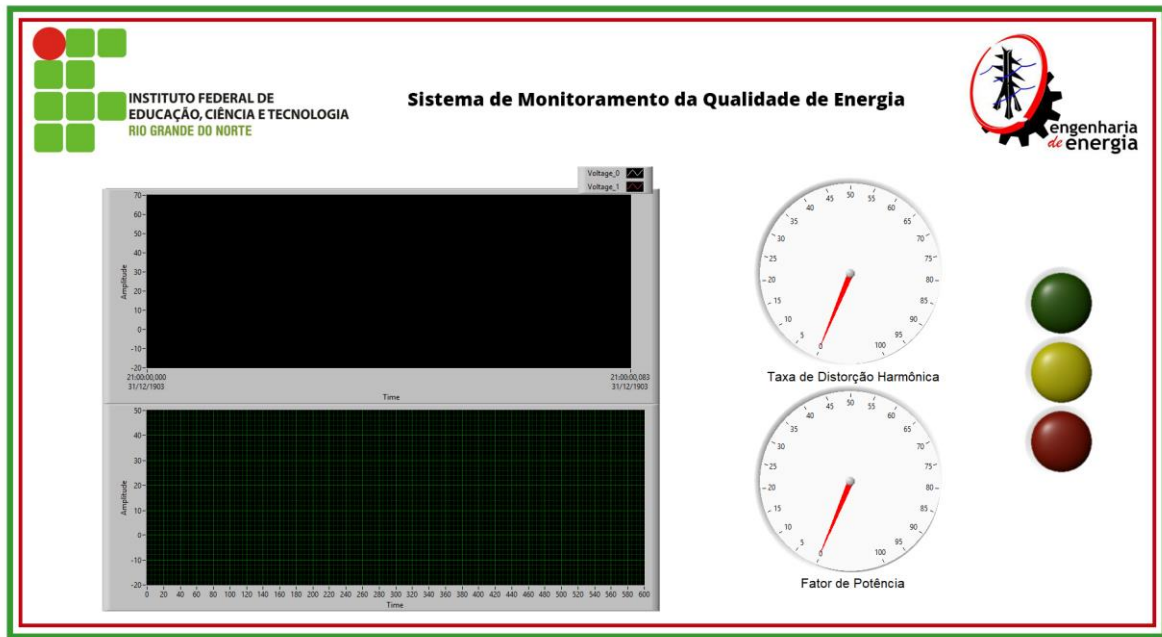


Figura 4: Painel frontal do sistema de qualidade de energia.

Os testes foram realizados com um motor de indução como carga. Para traçar parâmetros comparativos, a carga foi submetida a tensão diretamente da rede elétrica local (220v, 60 Hz) e posteriormente foi aplicada uma tensão proveniente do inversor de tensão que era alimentado pelo aerogerador. Um estudo comparativo foi realizado afim de demonstrar os problemas de qualidade de energia elétrica gerados e evidenciar a eficiência do software juntamente com o equipamento.



Figura 5: Sistema de medição conectado a uma carga indutiva e alimentado pelo inversor de tensão ligado ao gerador eólico (Laboratório de Pesquisa em Energia Elétrica – IFRN)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A coleta dos dados do conversor analógico digital foi realizada através dos dados de tensão e correntes fornecidos pela placa de circuitos. O sistema de qualidade de energia apresentou em seu painel frontal um gráfico de tensão e corrente no qual pode-se observar na Figura 6, um comportamento claramente senoidal constatando a baixa taxa de distorção harmônica da rede elétrica local.

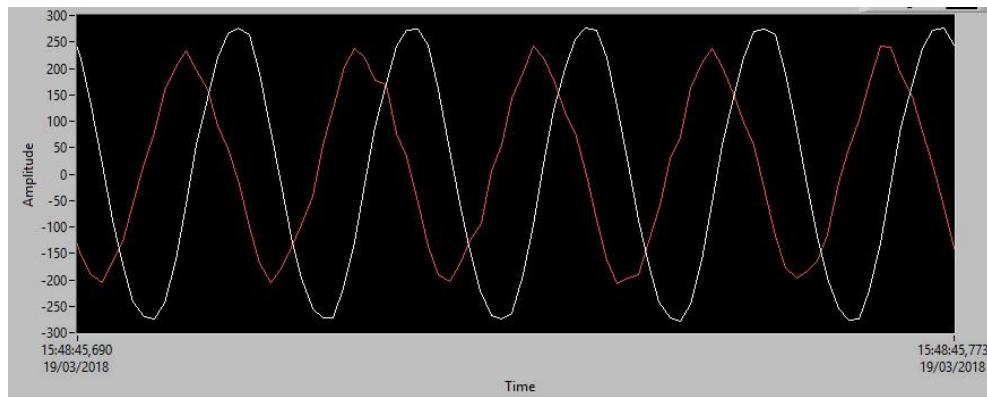


Figura 6: Tensão (branco) e corrente (vermelho) apresentados pelo software para o sistema conectado a rede local.

Para comprovar empiricamente a eficiência do sistema de medição da qualidade de energia, foi realizado um ensaio de calibração do mesmo. O sistema foi conectado ao inversor de tensão alimentado pelo aerogerador, porém não foi submetido a uma carga indutiva. O sinal elétrico de tensão característico gerado por um inversor de tensão pode ser observado na Figura 7, onde pode-se notar a eficiência do sistema de aquisição de dados quando submetido a aspectos de qualidade de energia elétrica.



Figura 7: Tensão (branco) e corrente (vermelho) apresentados pelo software para o sistema conectado ao inversor de tensão alimentado pelo gerador eólico.

Pode-se observar uma deformação aguda na onda senoidal que alimenta a carga, quando a mesma é enviada através do inversor de tensão alimentado pelo gerador. Este resultado era esperado através da análise da literatura apresentada, e comprovado pelos dados fornecidos pelo sistema de qualidade de energia. A Figura 8, apresenta um dos gráficos gerados pelo software e apresentado no painel frontal em uma dessas situações.

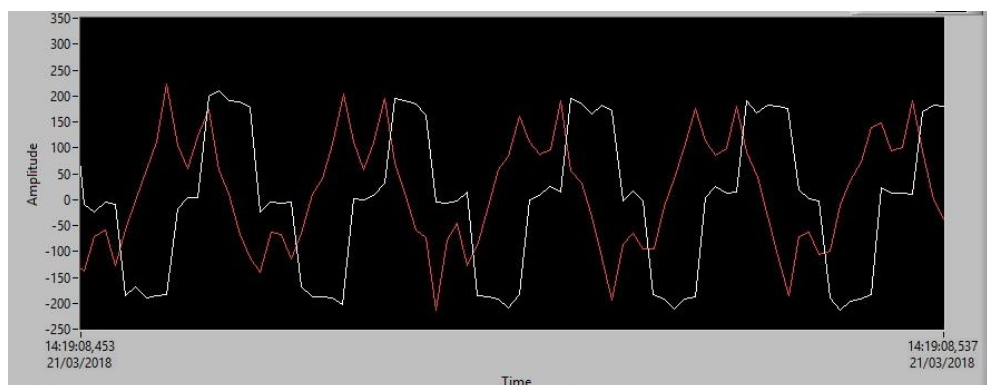


Figura 8: Tensão (branco) e corrente (vermelho) apresentados pelo software para o sistema conectado ao inversor de tensão alimentado pelo gerador eólico, ao mover uma carga indutiva.

Com base nas informações adquiridas de tensão e corrente, foi diagnosticado em ambos os sistemas a taxa de distorção harmônica gerada. Para a rede local, notou-se uma baixa TDH, tendo em vista que o sinal elétrico possuía poucas distorções em seu sinal. Pode-se observar no diagrama de frequência presente na Figura 9, uma presença apenas da onda fundamental seguido das harmônicas mais intensas, o que corrobora o comportamento esperado pelas informações de tensão adquirida.

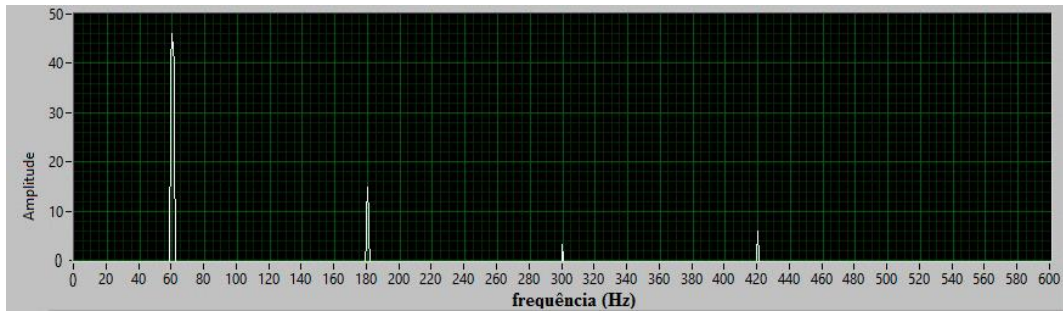


Figura 9: Diagrama de frequência das harmônicas no sistema ligado na rede local.

O diagrama de frequência das harmônicas geradas no sistema que possui o gerador ligado ao inversor de tensão apresenta valores elevados das harmônicas múltiplas de três e ímpares, dessa forma, justificando o distorcido sinal de tensão apresentado na análise do sistema com inversor. A Figura 10 apresenta o comportamento do diagrama de frequência citado.

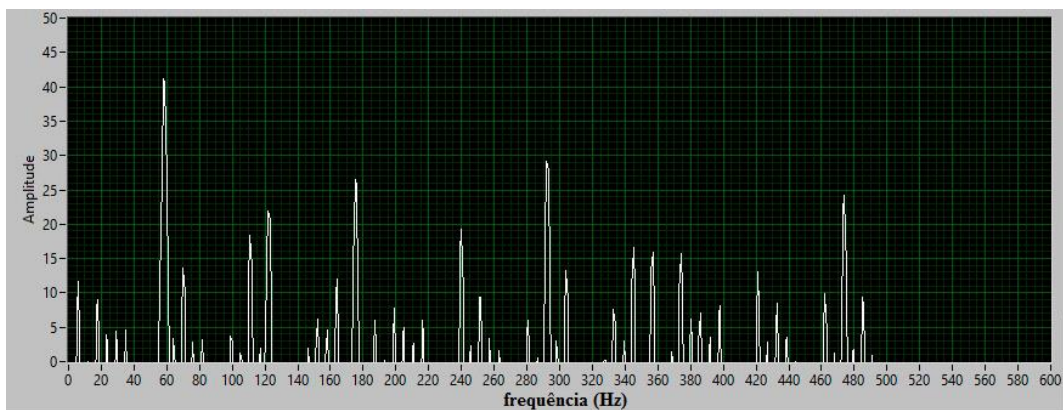


Figura 10: Diagrama de frequência das harmônicas no sistema ligado ao inversor de tensão alimentado pelo gerador eólico.

O conversor NI-6008 recebeu os dados enviados pelo sensor de corrente e o transformador permitiu a coleta dos dados de tensão, conseguindo realizar a conversão e as transmitir para o software no ambiente labview.

A placa de circuito se mostrou eficiente conseguindo transmitir os dados de tensão e corrente que serviram como base para os cálculos realizados pelo software de fatores de qualidade de energia. Estes cálculos foram comparados com os parâmetros definidos pela ANEEL e apresentados em tempo real pelo painel frontal que indicou com clareza essas informações.

A mineração dos dados apontou valores consideráveis na variação de tensão, frequência e taxa de distorção harmônica ao longo do dia, de acordo com as cargas aplicadas. Isso demonstra a eficiência do equipamento e sua utilidade principalmente para determinar soluções para os problemas citados.

O aerogerador apresentou mudanças nos aspectos de qualidade de energia a partir da variação da velocidade dos ventos, velocidade rotação e mudança de posição geográfica da torre.

5. REFERÊNCIAS

- Abramowski, J.; Posorki, R. Wind Energy for Developing Countries. DEWI Magazin, v 16, p. 46, 2000.
- Brito, S. S. Energia Eólica: Princípios e Tecnologias. Grupo Eletrobrás, p. 39, 2008.
- Lopez, R. A. Qualidade na Energia Elétrica: Efeitos dos distúrbios, diagnósticos e soluções. ArtLiber Editora, São Paulo, ed. 2, p. 171, 2013.
- Silva, S. R. Tecnologia em Aerogeradores. Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis. Belo Horizonte, p. 48-49, 2013.
- Fairchild Semiconductor. Application Note 42047, Power Factor Correction (PFC) Basics. Disponível em: <https://www.fairchildsemi.com/application-notes/AN/AN-42047.pdf>
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 414/2010. Brasília, 2012.
- Senra, R. Energia Elétrica: Mediação, Qualidade e Eficiência. Editora Baraúna, São Paulo, ed. 1, p. 408, 2013.
- Estanqueiro, A. I. Qualidade de Energia Eólica. Normas e regulamentos. ResearchGate. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/259538547>.
- Leão, R. S.; Sampaio, R. F.; Antunes, F. L. M. Harmônicos em Sistemas Elétricos. Editora Elsevier, Rio de Janeiro, ed. 1, 2014.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 8, Qualidade de Energia Elétrica, 2018.

López, J. J. G.; Suárez, C. A. H.; Sarmiento, F. H. M. Control Difuso para la Corrección Activa del Factor de Potencia. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. Francisco José Caldas: Colombia. vol. 29, 2011.

Afonso, J. L.; Batista, J; Sepúlveda, M. J.; Martins, J. S. Sistema Digital de Bajo Coste para la Monitorización de la Calidad de Energía Eléctrica. Información Tecnológica. Vol. 18, n. 4, 2007.

Khaledian, A.; Vahidi, B.; Abedi, M. Harmonic Distorted Load Control in a Microgrid. Journal of Applied Research and Technology. Vol. 12, 2014.

Veloso, G; Camargo, M. P. Viabilidade econômica da implantação de um banco de capacitores em unidade armazenadora de grãos. Revista IPECEGE, 3(3): 28-39, 2017.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

MICRO-SCALE WIND GENERATION QUALITY

Ernesto Guevara Leal Maniçoba¹, elchequimica@gmail.com

Eliel da Costa Pinheiro¹, elioldacosta25@hotmail.com

Jacques Cousteau da Silva Borges¹, cousteau.borges@ifrn.edu.br

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN, Avenida Senador Salgado Filho, 1559 – Tirol, Natal – RN, 59015-000.

Abstract. *This work demonstrates a system of monitoring the energy quality produced by microscale wind generators. Due to the increase in the use of wind energy as a supply alternative for situations of high demand in the network, the problems that this source generates with respect to power quality such as voltage fluctuation, harmonic distortion and aspects of power factor must be studied and minimized. Aiming at this need, we present a device capable of receiving voltage and current data, and through a software developed in the language labview present in real time or transmit over the internet information on energy quality, following parameters defined by the National Electric Energy Agency.*

Keywords: *Behavior of harmonics, voltage variations, labview, ANEEL*