



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

AISLAN GALDINO DOS SANTOS



Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LSP-UFCG



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2017

AISLAN GALDINO DOS SANTOS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LSP-UFCG

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de Campina
Grande como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Professor Célio Anésio da Silva, D.Sc.
Orientador

Campina Grande
2017

AISLAN GALDINO DOS SANTOS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LSP-UFCG

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de Campina
Grande como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em 06 / 10 / 2017

Professor Ronimack Trajano de Souza
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Célio Anésio da Silva, D.Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a minha mãe, Graciedja, que torceu por mim a cada dia, e foi meu maior exemplo de dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Graciedja, por se esforçar tanto para me proporcionar uma boa educação, por ser um exemplo de dedicação e resiliência, por me apoiar e me incentivar a perseverar em todas as dificuldades ao decorrer desta caminhada. Ao meu pai, Ailton, pelo exemplo caráter e por me proporcionar a realização desse sonho. As minhas irmãs Aisla e Arísia por estarem sempre na torcida, acreditando em mim mesmo quando nem mesmo eu acreditava. A minha namorada Wítalla, que me acompanhou diariamente nessa fase, sempre me aconselhando e repetindo que vai dar tudo certo.

Agradeço também a toda minha família, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Agradeço ao Professor Célio Anésio pela oportunidade de estagiar no LSP e pelas orientações prestadas não só durante o estágio, mas também durante o trabalho de conclusão de curso e ao longo da graduação.

Agradeço aos meus colegas de graduação que com certeza sem o apoio deles não conseguiria ter chegado até aqui.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“É preciso força,
pra sonhar
e perceber
que a estrada vai
além do que se vê.”*

Marcelo Camelo.

RESUMO

A busca por reduções de custos eleva a cada dia as exigências sobre a quantidade e mais ainda sobre qualidade daquilo que é consumido. Em especial na avaliação da energia elétrica, seus parâmetros de qualidade além de serem exigências legais, são pontos determinantes na economia de energia, que no mercado competitivo que se instaura pode ser um parâmetro decisivo. Os fabricantes de equipamentos elétricos apresentam a cada dia melhores produtos que agregam mais funções, com menor volume e com um menor consumo de energia. Isso vem sendo alcançado devido a evolução dos dispositivos microprocessados e da eletrônica de potência que permitem o controle mais preciso e eficiente da eletricidade. Porém o emprego dessas tecnologias está correlacionado a componentes não lineares, que geram diversas harmônicas na rede, o que aumenta as perdas e diminui a qualidade da energia do sistema elétrico. Por isso um dispositivo para análise da qualidade da energia elétrica é tão importante, sendo uma ferramenta crucial para o profissional responsável em corrigir e/ou projetar um sistema. O objetivo geral desse trabalho é realizar uma análise da qualidade de energia do Laboratório de Sistemas de Potência (LSP), utilizando como base os parâmetros exigidos nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Elétrico Nacional ou PRODIST, mais especificamente no Módulo 8, confeccionado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Para a realização das atividades foi utilizado um analisador da qualidade da energia Nexus 1500+, que é de posse do próprio laboratório.

Palavras-chave: Qualidade de energia elétrica, Qualímetro, Harmônicos, PRODIST Módulo 8.

ABSTRACT

The quest for cost reductions increases the demands on quantity each day and more on the quality of what is consumed. In particular in the evaluation of electric energy, its quality parameters besides being legal requirements, are decisive points in energy saving, which in the competitive market that is established can be a decisive parameter. Electrical equipment manufacturers are presenting better products that add more functions, with less volume and with a lower energy consumption. This has been achieved due to the evolution of microprocessor devices and power electronics that allow more precise and efficient control of electricity. However, the use of these technologies is correlated to nonlinear components, which generate different harmonics in the network, which increases the losses and decreases the quality of the electric system energy. Therefore a device for the analysis of the power quality is so important, being a crucial tool for the professional responsible in fix and / or designing a system. The general objective of this paper is to perform an analysis of the power quality of the Laboratório de Sistemas de Potência (LSP) located in Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), based on the parameters required in the Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Elétrico Nacional or PRODIST, specifically in Module 8, By the Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). For the accomplishment of the activities a Nexus 1500+ energy quality analyzer was used, that is of own possession of the laboratory.

Keywords: Power Quality, Power Meter, Harmonics, PRODIST Módulo 8.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Parte traseira do Nexus 1500+	16
Figura 2 - Conectores para medição de corrente.....	17
Figura 3 - <i>Plug</i> tipo A e tipo B.....	17
Figura 4 - Tela inicial do Nexus 1500+.....	18
Figura 5 - Tela de navegação principal (<i>Main</i>).....	19
Figura 6 - Tela <i>Trends</i>	19
Figura 7 - Tela <i>Alarms</i>	20
Figura 8 - Tela <i>Real Time</i>	20
Figura 9 - Tela <i>Harmonics</i>	21
Figura 10 - Tela principal do MeterManager EXT.....	22
Figura 11 - Espectro harmônico.....	23
Figura 12 - Janela <i>Polling</i>	23
Figura 13 - Medições salvas no formato .txt.....	24
Figura 14 - Ligação para alimentação do Nexus 1500+.....	28
Figura 15 - Ligação do Nexus 1500+ no circuito a ser avaliado.....	29
Figura 16 - Medição utilizando o qualímetro Nexus 1500+.....	30
Figura 17 - Tensão em regime permanente (dia 06/09/17).....	35
Figura 18 - Tensão em regime permanente (dia 07/09/17).....	36
Figura 19 - <i>Trigger</i> disparado devido a ligação do aparelho na rede elétrica.....	37
Figura 20 - <i>Trigger</i> disparado devido a remoção do aparelho na rede elétrica.....	37
Figura 21 - Frequência (dia 06/09/17).....	39
Figura 22 - Frequência (dia 07/09/17).....	39
Figura 23 - Potência aparente (dia 06/09/17).....	40
Figura 24 - Potência ativa (dia 06/09/17).....	41
Figura 25 - Potência aparente (dia 07/09/17).....	41
Figura 26 - Potência ativa (dia 07/09/17).....	42
Figura 27 - Distorção harmônica total dia (06/09/17).....	42
Figura 28 - Distorção harmônica total dia (07/09/17).....	43
Figura 29 - Harmônicas pares não múltiplas de 3 (dia 06/09/17).....	43
Figura 30 - Harmônicas ímpares não múltiplas de 3 (dia 06/09/17).....	44
Figura 31 - Harmônicas múltiplas de 3 (dia 06/09/17).....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tensões nominais iguais ou inferiores a 1 kV (380/220).....	32
Tabela 2 - Valores de referência para os índices P_{st} e P_{lt}	33
Tabela 3 - Limites de distorção harmônica.....	34
Tabela 4 - Valores de tensão máximos e mínimos (dia 06/09/17).....	35
Tabela 5 - Valores de tensão máximos e mínimos (dia 07/09/17).....	36
Tabela 6 - Índices P_{st} e P_{lt} (dia 06/09/17).....	37
Tabela 7 - Índices P_{st} e P_{lt} (dia 07/09/17).....	38
Tabela 8 - Valores de frequência máximos e mínimos (dia 06/09/17).....	39
Tabela 9 - Valores de frequência máximos e mínimos (dia 07/09/17).....	39
Tabela 10 - Índices de distorção harmônica (dia 06/09/17).....	45
Tabela 11 - Índices de distorção harmônica (dia 07/09/17).....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CIGRÉ	<i>Concil on Large Electric Systems</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LSP	Laboratório de Sistemas de Potência
ONS	Operador Nacional do Sistema
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Elétrico Nacional
QEE	Qualidade da Energia Elétrica
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i>
VTCD	Variações de Tensão de Curta Duração

SUMÁRIO

1	Introdução	12
1.1	Motivação	12
1.2	Objetivos do Trabalho	13
1.3	Organização do Trabalho	13
2	Qualímetro Nexus 1500+	14
2.1	Características	14
2.2	Comunicação USB	17
2.3	Display	18
2.4	Softwares.....	21
2.5	Cálculos e Medidas.....	24
2.6	Instalação Elétrica	28
3	Realização da Medição	30
3.1	Parâmetros Avaliados	31
3.1.1	Tensão em Regime Permanente	31
3.1.2	Flutuação de Tensão	32
3.1.3	Desequilíbrio de Tensão	33
3.1.4	Variação de Frequência	33
3.1.5	Fator de Potência.....	34
3.1.6	Harmônicos	34
3.2	Discursão dos Resultados	35
3.2.1	Tensão em Regime Permanente	35
3.2.2	Flutuação de Tensão	36
3.2.3	Desequilíbrio de Tensão	38
3.2.4	Variação de Frequência	38
3.2.5	Fator de Potência.....	40
3.2.6	Harmônicos	42
4	Conclusão	46
	Referências	47
	Apêndice A – Código Desequilíbrio de Tensão.....	48
	Apêndice B – Código Fator de Potência.....	50
	Apêndice C – Código Harmônicas.....	52

1 INTRODUÇÃO

A escassez de recursos energéticos, além da busca por reduções de custos eleva a cada dia as exigências sobre a quantidade e mais ainda sobre qualidade daquilo que é consumido. Em especial na avaliação da energia elétrica, seus parâmetros de qualidade além de serem exigências legais são pontos determinantes na economia de energia, que no mercado competitivo que se instaura pode ser um parâmetro decisivo.

1.1 MOTIVAÇÃO

Os fabricantes de equipamentos elétricos, tanto residenciais como industriais, tentam a cada dia apresentar melhores produtos que agreguem mais funções, com menor volume e com um menor consumo de energia. Isso vem sendo alcançado devido a evolução dos dispositivos microprocessados e da eletrônica de potência que permitem o controle mais preciso e eficiente da eletricidade e dos diversos processos aplicados. Porém o emprego dessas tecnologias está correlacionado a componentes como diodos, transistores, triacs dentre outros. Esses componentes em geral apresentam comportamentos não lineares, gerando diversas harmônicas na rede além da fundamental, o que aumenta as perdas e diminui a qualidade da energia do sistema elétrico.

Alterações da qualidade de energia elétrica (QEE) afetam os consumidores de energia elétrica de diversas formas, sendo os consumidores de porte industrial os mais afetados, pois uma falta de energia durante poucos segundos, obriga a fábrica a reiniciar todo o processo, causando grandes prejuízos financeiros.

Por isso um dispositivo para a análise da qualidade da energia elétrica é tão importante, sendo uma ferramenta crucial para corrigir e/ou projetar um sistema imune a essas condições desfavoráveis. É importante ressaltar que o problema da qualidade de energia é resolvido por análise e não por uma simples medição. Os dados obtidos pelo analisador de qualidade da energia são somados a diversos outros dados como relatórios da concessionária de energia elétrica e pode levar em conta até relatórios meteorológicos que apresentam a quantidade de descargas atmosféricas ou a presença de ventos fortes na região. Por fim cabe ao profissional a tomada da melhor decisão para resolver esse problema.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral desse trabalho é fazer uma análise da qualidade da energia elétrica do Laboratório de Sistemas de Potência (LSP), utilizando como base os parâmetros exigidos nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Elétrico Nacional ou PRODIST, mais especificamente em seu módulo 8, criado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A atividade foi desenvolvida em etapas de forma a consolidar o conteúdo desse tema e assim ser possível se realizar o trabalho. Sendo assim, as etapas foram estudar os medidores de qualidade de energia em especial o dispositivo adquirido pelo LSP que é o Nexus 1500+, aprendendo a utilizá-lo de forma a realizar as medições necessárias para o desenvolvimento do trabalho, em conjunto com o estudo da utilização do equipamento fez-se necessário estudar os *softwares* Communicator EXT e o MeterManager EXT que acompanham o Nexus 1500+ . O segundo objetivo foi escolher um arranjo adequado para realizar as medições, utilizando assim elementos como cabos, conectores e transformadores de corrente. Após montado o arranjo e configurado o qualímetro para fazer a leitura, será feito um estudo dos dados apresentados para obter um diagnóstico referente à qualidade de energia elétrica do laboratório.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho será dividido em quatro capítulos. O primeiro é a parte introdutória onde é discutido conceitos gerais sobre a atividade desenvolvida. No segundo capítulo é apresentado características, formas de ligação e configurações do *software*. No terceiro capítulo são mostrados os arranjos utilizados para realização dos testes além de alguns comentários sobre os resultados. O quarto capítulo é dedicado às considerações finais.

2 QUALÍMETRO NEXUS 1500+

Nesse capítulo é apresentada uma visão geral do equipamento utilizado para a análise da QEE. Devido o qualímetro utilizado nesse trabalho ser um equipamento de alto desempenho, não será possível abordar todos os recursos que ele oferece. Sendo assim esse capítulo irá tratar principalmente os recursos utilizados durante as atividades do estágio.

2.1 CARACTERÍSTICAS

O medidor Nexus 1500+ pode ser utilizado na maioria das aplicações de gestão de energia elétrica, oferecendo alta precisão e dados confiáveis para utilização em sistemas críticos.

O medidor salva todos os aspectos relacionados à potência elétrica incluindo a QEE, transientes e produz relatórios sobre a QEE no circuito medido. Tudo isso de acordo com as normas IEC 61000-4-30 Classe A e EN 50160 que são padrões internacionais (ELECTRO INDUSTRIES/GAUGE TECH, 2015).

Algumas características relacionadas à medição do Nexus 1500+ são mostradas a seguir:

- i. Apresenta grau de precisão padrão laboratorial de 0,06%;
- ii. Calibração a cada 10 segundos, mantendo a precisão da leitura independente das variações de temperatura;
- iii. Encontra-se em conformidade com ANSI C12.20 (0.2 Class) Standard e IEC 62053-22 (0.2S Class) Standard, que são especificações de precisão;
- iv. Ajuste de transformadores e perdas nas linhas definidos pelo usuário;
- v. Ajuste de erros dos Transformadores de Corrente (TC) e dos Transformadores de Potência (TP);
- vi. Conta pulsos e agrega diferentes cargas;
- vii. Oferece um modo de teste, que verifica a precisão do equipamento sem afetar a medição instantânea;
- viii. Oferece um calendário perpétuo que pode ser ajustado para se adequar as taxas do fornecedor de energia local.

Algumas características relacionadas à QEE encontradas no Nexus 1500+ :

- i. Medições de até 800.000 amostras por ciclo, com eventos transientes de até 50 MHz;
- ii. Captura a qualidade de energia e confiabilidade no sinal de tensão e corrente.
- iii. Oferece entradas para medição de diferença de tensão entre o neutro e o condutor de proteção;
- iv. Pode ser sincronizado com o código de sinal IRIG-B;
- v. Mede harmônicas segundo o IEC 61000-4-30 e *Flicker* usando o IEC 61000-4-15 Class A Standard. A análise de *Flicker* pode ser instantânea, na forma de termo curto, ou termo longo;
- vi. Oferece uma forma programável de relatórios de avisos para se adequar a diferentes jurisdições.

Características do RTU (*Remote Terminal Unit*):

- i. Capacidade de monitoramento avançada que oferece figuras precisas e detalhadas de qualquer ponto de medição do sistema.
- ii. Diversidade de sistemas de entrada e saída, o que inclui uma placa de extensão com 6 saídas para relé (até duas placas por medidor).
- iii. Placa de extensão com entrada para 16 *status* (até duas placas por medidor).
- iv. Memória *flash* para armazenamento de 4 Gbytes, que pode salvar anos de medições.
- v. Conector padrão RJ45, para conexão via ethernet.
- vi. Conector USB Virtual COM Port para, compatível com USB 1.1/USB 2.0.
- vii. Placa de extensão RS485/Pulse, que coloca na saída os valores de var-hora, Watt-hora ou VA-hora.

A alimentação do equipamento pode ser feita pela rede alternada 50/60 Hz 100-240 V RMS (*Root Mean Square*), 100-240 V DC (*Direct Current*) ou 18-60 DC. O consumo do medidor varia de 18 a 25 VA dependendo da configuração de ligação. Enquadra-se na categoria CAT III, para equipamentos de medição com isolamento para 2500 VAC. Faz medições de tensão de fase para o neutro com um auto ajuste em uma faixa de 5 a 347 V RMS e de fase para fase em uma faixa de 10 a 600 VAC. Tem uma impedância de entrada de

5 M Ω por fase. Para medições de corrente existem dois modos o primeiro chamado de Class 2, faz a leitura de correntes de até 1 A RMS nominal com 2 A RMS no máximo. No segundo modo o Class 20 a leitura é feita até 5 A RMS nominal com 20 A RMS no máximo. O sistema ainda suporta correntes de surto de valor elevado, porém com curta duração, seus valores são 100 A durante 10 segundos 300 A por 3 segundos e 500 A por apenas 1 segundo. Ele faz a leitura de sinais que variam entre 45 Hz e 69,9 Hz.

O Nexus 1500+ tem diversas conexões em sua parte traseira, essas conexões são utilizadas para alimentação do equipamento, para realizar medições e para a comunicação. A Figura 1 as apresenta.

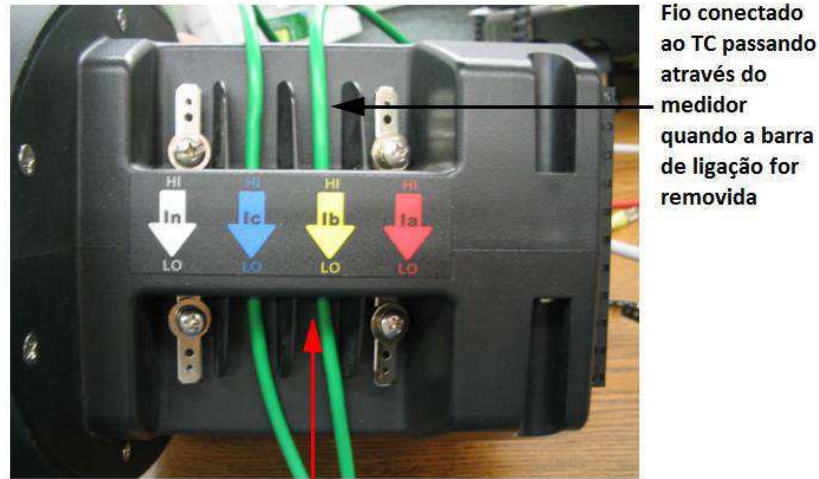
Figura 1 - Parte traseira do Nexus 1500+.



Fonte: (Adaptada manual Nexus 1500+, 2015).

A Figura 2 mostra a parte lateral do medidor onde estão presentes os TCs para medição de corrente.

Figura 2 - Conectores para medição de corrente.



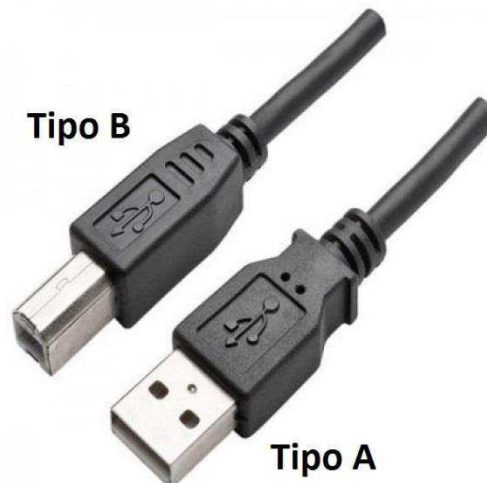
Fonte: (Adaptada manual Nexus 1500+,2015).

2.2 COMUNICAÇÃO USB

Como já mencionado, existem diversas formas de comunicação que podem ser feitas utilizando o Nexus 1500+. Porém, o meio de comunicação utilizado nesse trabalho será o USB (*Universal Serial Bus*).

O equipamento aceita os padrões USB 1.1 e 2.0, sendo utilizados como um canal de comunicação serial virtual, em que o computador reconhece apenas uma simples porta COM (*Communication Port*). Utiliza um cabo USB com um terminal padrão, ou tipo A, em uma ponta e um *plug* tipo B na outra ponta. Como mostra a Figura 3.

Figura 3 - *Plug* tipo A e tipo B.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a utilização em conjunto com o computador, basta ligar o cabo USB e é instalado o drive automaticamente, porém para sistemas operacionais anteriores ao Windows 7 é necessário a instalação de *drivers* manualmente utilizando o CD que acompanha o equipamento. Depois de instalado o driver é necessário configurar alguns parâmetros no Communicator EXT, para que seja possível utilizar o MeterManager EXT.

2.3 DISPLAY

Para navegar entre as diferentes leituras que o equipamento apresenta existe um *display* colorido com a tecnologia *touch screen* embarcada. Vale ressaltar que por meio do *display* não é possível realizar qualquer ajuste no qualímetro, apenas visualizar os resultados. Para configuração dos parâmetros é necessário conectar o qualímetro no computador e então utilizando os programas que o acompanham, carregar qualquer ajuste que se deseje. Na tela inicial são apresentadas cinco opções, cada uma está associada com um conjunto de informações.

Após o equipamento ser ligado e passar por seu período de inicialização é apresentada a tela inicial mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Tela inicial do Nexus 1500+.



Fonte: (Manual do Nexus 1500+, 2015).

No ícone *Main* é apresentada uma tela de navegação geral, que contempla todas as opções que o Nexus 1500+ pode oferecer, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Tela de navegação principal (*Main*).



Fonte: (Manual do Nexus 1500+, 2015).

Tanto opção *Trends* como as outras apresentadas a diante também estão presentes na tela *Main*, porém, por serem funções mais utilizadas foram inseridas como forma de atalho. A primeira tela do atalho *Trends* é mostrada na Figura 6 e apresenta tendências dinâmicas, mostrando os diversos dados salvos. Ele armazena valores médios referentes a uma faixa de tempo, podendo conferir tensões de fase linha ou corrente ao longo do tempo, além de ser possível visualizar a faixa de tempo acumulada até o armazenamento da última amostra.

Figura 6 - Tela *Trends*.



Fonte: (Manual do Nexus 1500+, 2015).

No ícone *Alarms*, são visualizados pelo usuário valores limites de operação. Para o caso em que algum parâmetro saia da faixa de normalidade é possível acionar um alarme ou até mesmo realizar a atuação de algum relé. A Figura 7 apresenta a primeira tela da opção *Alarms*.

Figura 7 - Tela *Alarms*.

ID	ITEM	VALUE	STATUS	SETTING
1	1sIntTemp	53.00	■ ■	10.00 10.00
2	1sIntTemp	53.00	■ ■	70.00 110.00
3				
4				
5				

Fonte: (Manual do Nexus 1500+, 2015).

Real Time apresenta na tela as leituras instantâneas, como é mostrado na Figura 8. Pode-se navegar por diversas telas que apresentam mais detalhes sobre cada parâmetro medido instantaneamente. Como exemplo, pode ser apresentada uma tela apenas com as tensões entre fase e neutro, sendo assim são também mostrados outros detalhes como tensão mínima e máxima ao longo do tempo entre outros parâmetros.

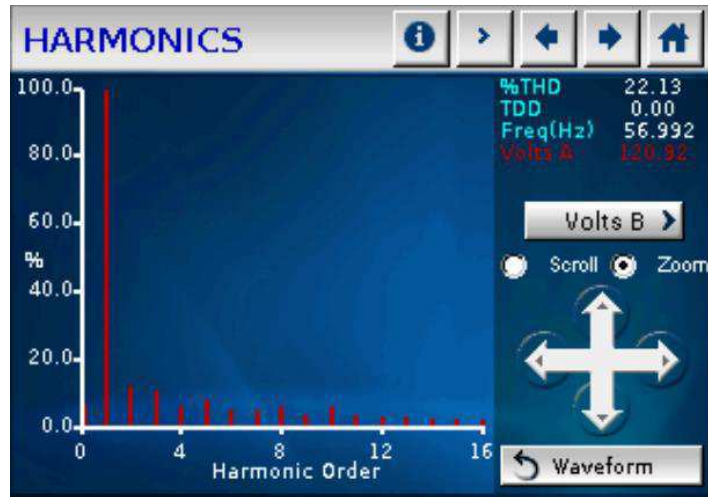
Figura 8 - Tela *Real Time*.

VOLTS		VOLTS		AMPS	
AN	120.52	AB	0.00	A	2.57
BN	120.46	BC	0.55	B	2.57
CN	121.00	CA	0.00	C	2.58
WATTS		VARS		VA	
931.60		-4.52		931.61	
				FREQ	
				60.000	

Fonte: (Manual do Nexus 1500+, 2015).

Power Quality é onde está inserido todo o estudo de harmônicas. Podendo avaliar sua distorção total, o valor porcentual das componentes, como mostrado na Figura 9, e até mesmo visualizar a forma de onda.

Figura 9 - Tela *Harmonics*.

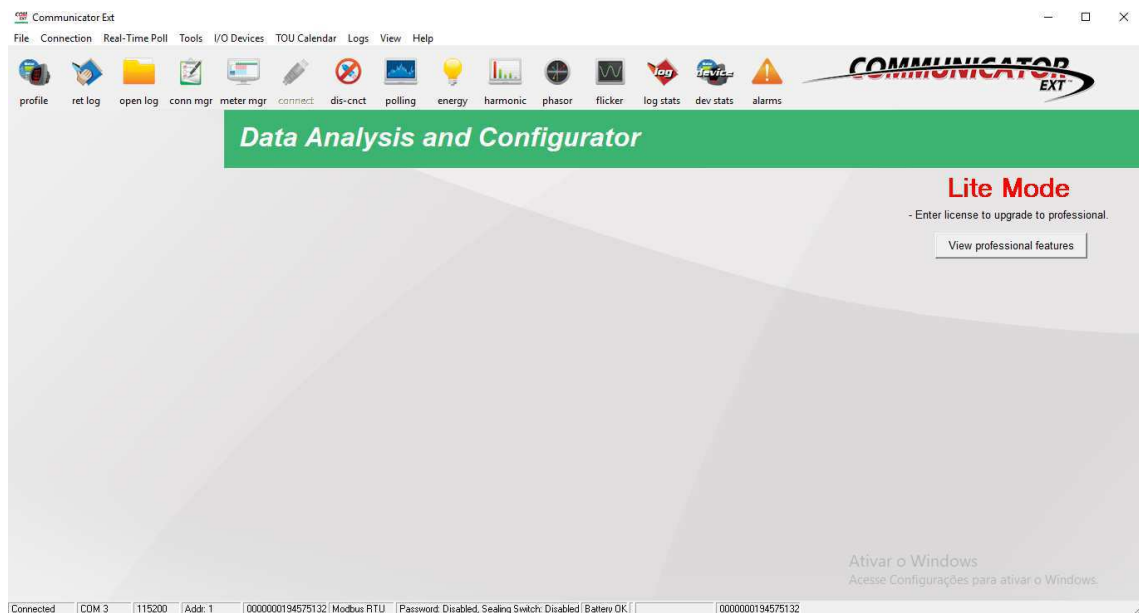


Fonte: (Manual do Nexus 1500+, 2015).

2.4 SOFTWARES

Existem dois programas que são necessários para a utilização do Nexus 1500+. O Communicator EXT responsável pela comunicação entre o qualímetro e o computador e o MeterManager EXT que o programa principal que realiza os demais cálculos, eles trabalham em conjunto sendo necessário apenas inicializar o Communicator EXT para que o MeterManager EXT comece a funcionar. É utilizando esses programas que é possível apresentar os resultados além de configurar o Nexus 1500+. Na Figura 10 é apresentada a tela principal do MeterManager EXT.

Figura 10 - Tela principal do MeterManager EXT.

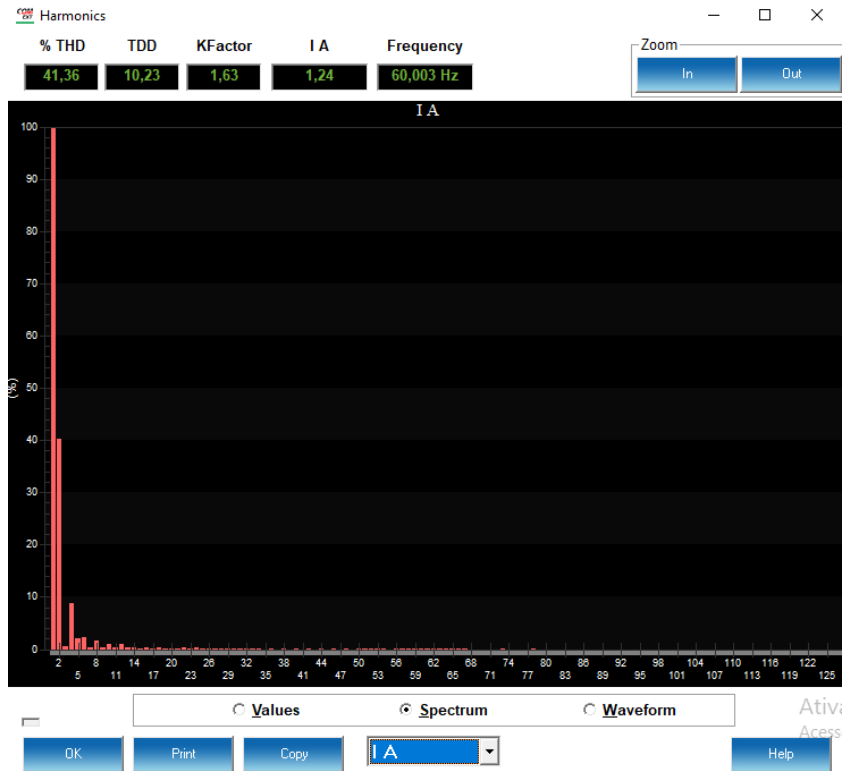


Fonte: Elaborada pelo autor.

O primeiro passo na utilização do MeterManager EXT, é configurá-lo para que ele funcione de forma personalizada. Existem diversos parâmetros como ajuste de data e hora, relação de transformação dos transformadores de corrente (TC) e dos transformadores de potência (TP), período de cálculo dos valores eficazes, intervalos de tempo entre o armazenamento dos valores medidos, número de dígitos e casas decimais utilizadas nos cálculos, enfim deve-se ajustar todas as preferências de acordo com a aplicação. Todos esses ajustes são descritos no manual do programa disponível no site do fabricante. Após esses ajustes é necessário carregá-los no equipamento.

O qualímetro então irá realizar as medições segundo a pré-configuração realizada. A qualquer momento é possível visualizar as medições tanto na tela do qualímetro como no computador, caso ele esteja conectado com o qualímetro. É possível então ver todos os parâmetros medidos de forma detalhada. Na Figura 11 é apresentada a medição do espectro harmônico em tempo de execução e na Figura 12 a janela *Polling*, que concentra uma grande quantidade de informações sobre o sistema medido.

Figura 11 - Espectro harmônico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 - Janela Polling.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Também é possível visualizar valores passados que foram armazenados, após um intervalo de tempo. Podendo exportar esses valores na forma de um arquivo .txt, como apresentado na Figura 13, ou em forma de gráfico.

Figura 13 - Medições salvas no formato .txt.

medições2208 - Bloco de notas

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
0000000194575132 - 1s Van	1	8/21/2017 16:40	224,410	
0000000194575132 - 1s Van	2	8/21/2017 16:42	223,649	
0000000194575132 - 1s Van	3	8/21/2017 16:44	223,549	
0000000194575132 - 1s Van	4	8/21/2017 16:46	224,423	
0000000194575132 - 1s Van	5	8/21/2017 16:48	224,083	
0000000194575132 - 1s Van	6	8/21/2017 16:50	224,223	
0000000194575132 - 1s Van	7	8/21/2017 16:52	225,017	
0000000194575132 - 1s Van	8	8/21/2017 16:54	224,982	
0000000194575132 - 1s Van	9	8/21/2017 16:56	224,633	
0000000194575132 - 1s Van	10	8/21/2017 16:58	225,818	
0000000194575132 - 1s Van	11	8/21/2017 17:00	227,230	
0000000194575132 - 1s Van	12	8/21/2017 17:02	226,636	
0000000194575132 - 1s Van	13	8/21/2017 17:04	227,186	
0000000194575132 - 1s Van	14	8/21/2017 17:06	226,658	
0000000194575132 - 1s Van	15	8/21/2017 17:08	226,089	
0000000194575132 - 1s Van	16	8/21/2017 17:10	226,229	
0000000194575132 - 1s Van	17	8/21/2017 17:12	227,273	
.....

Fonte: Elaborada pelo autor.

2.5 CÁLCULOS E MEDIDAS

O medidor Nexus 1500+ apresenta diferentes parâmetros de potência. A seguir são apresentadas as rotinas de cálculos para esses parâmetros considerando as cargas com ligações em Y ou em delta.

A seguir são apresentados os cálculos para tensão RMS (*Root Mean Square*), em que N representa o número de amostras utilizadas na integralização de um valor medido válido e x para a ligação em Y pode ser a , b ou c , que correspondem as tensões de fase.

$$V_{RMS_x} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (V_{x(t)} - V_n(t))^2}{N}}. \quad (1)$$

Para o cálculo das tensões de linha utilizadas principalmente para a ligação em delta, xy pode ser ab , bc ou ca , que são as tensões de linha V_{ab} , V_{bc} e V_{ca} . A equação para seu cálculo é apresentada abaixo.

$$V_{RMS_{xy}} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (V_{x(t)} - V_{y(t)})^2}{N}}. \quad (2)$$

As correntes de linha para ligações em Y tem x sendo a , b , c ou n . Já para ligação em delta x pode ser apenas a , b ou c , devido a não existência de um condutor neutro. A equação é apresentada a seguir.

$$I_{RMS_x} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (I_{x(t)})^2}{N}}. \quad (3)$$

A potência ativa (W) por fase é mostrada abaixo para uma ligação em Y. O x nesse caso pode representar an , bn e cn .

$$W_x = \frac{\sum_{t=1}^N (V_{x(t)} \cdot I_{x(t)})}{N}. \quad (4)$$

A potência aparente (VA) por fase em uma ligação em Y é calculado da seguinte forma.

$$VA_x = V_{RMS_x} \cdot I_{RMS_x}. \quad (5)$$

Podendo x corresponder a an , bn e cn .

A potência reativa (var) por fase, para um ligação em Y é adquirida da forma abaixo.

$$VAR_x = \sqrt{VA_x^2 - W_x^2}. \quad (6)$$

A potência ativa total para a ligação em Y é:

$$W_T = W_a + W_b + W_c. \quad (7)$$

Já para a ligação em delta a potência ativa total é calculada por:

$$W_T = \frac{\sum_{t=i}^N (V_{ab(t)} \cdot I_a(t) - V_{bc(t)} \cdot I_c(t))}{N}. \quad (8)$$

A potência reativa total para uma ligação em Y é apresentada abaixo.

$$VAR_T = \sqrt{VA_T^2 - W_T^2}. \quad (9)$$

E para ligação em delta é utilizada a seguinte equação:

$$VAR_T = \sqrt{(V_{RMS_{ab}} \cdot I_{RMS_a})^2 - \left(\frac{\sum_{t=1}^N V_{ab} \cdot I_a(t)}{N}\right)^2} + \sqrt{(V_{RMS_{bc}} \cdot I_{RMS_c})^2 - \left(\frac{\sum_{t=1}^N V_{bc} \cdot I_c(t)}{N}\right)^2}. \quad (10)$$

Para a potência aparente (VA) total em ligação em Y é da forma:

$$VA_T = VA_a + VA_b + VA_c. \quad (11)$$

Enquanto que para a ligação em delta é:

$$VA_T = \sqrt{W_T^2 - VAR_T^2}. \quad (12)$$

O cálculo do fator de potência é dado por:

$$FP_x = \frac{W_x}{VA_x}. \quad (13)$$

Em que x corresponde a a , b ou c no caso da ligação em Y e a T (total) para ligação em delta.

E o ângulo de fase é obtido por:

$$\theta = \cos^{-1}(FP). \quad (14)$$

A distorção harmônica total ou THD (*Total Harmonic Distortion*), para ligação em Y tem o índice x podendo corresponder a V_{an} , V_{bn} ou V_{cn} . E para ligação em delta x pode assumir os valores de I_a , I_b , I_c , V_{ab} , V_{bc} ou V_{ca} .

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{127} (x_{RMS_h})^2}}{x_{RMS1}}. \quad (15)$$

Fator K, que é um item semelhante ao THD com a ressalva que ele se concentra na distorção harmônica que acarreta o aquecimento dos equipamentos.

O valor do índice x pode corresponder a I_a , I_b ou I_c .

$$K = \frac{\sum_{h=1}^{127} (h \cdot x_{RMS_h})^2}{\sum_{h=1}^{127} (x_{RMS_h})^2}. \quad (16)$$

Para os parâmetros de consumo são apresentados o cálculo do Watt hora (Wh) que é dado seguindo a fórmula abaixo.

$$Wh = \sum_{t=1}^N \frac{W_t}{3600_{sec/hr}}. \quad (17)$$

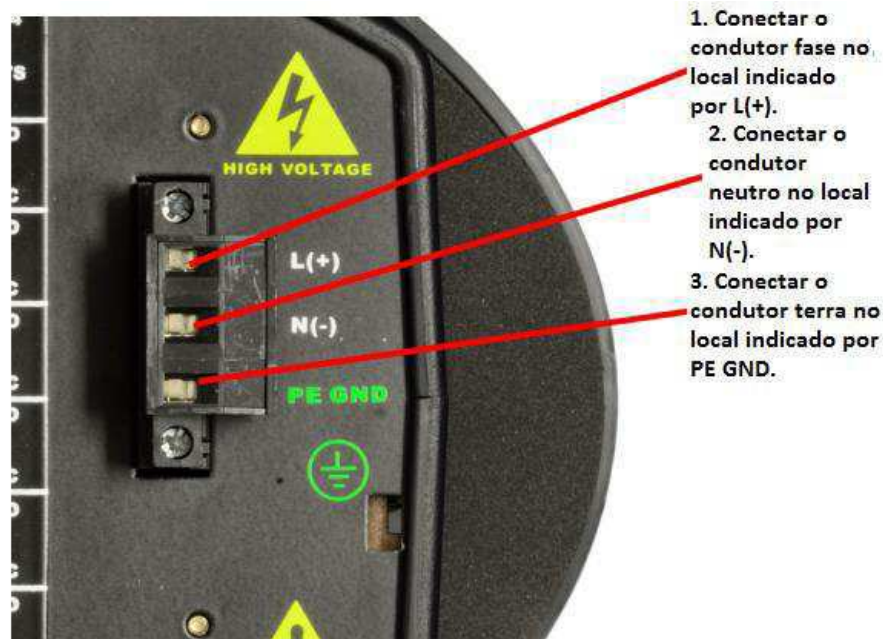
E também o Var hora (varh) que é representado pela equação a seguir.

$$VARh = \sum_{t=1}^N \frac{VAR_t}{3600_{sec/hr}}. \quad (18)$$

2.6 INSTALAÇÃO ELÉTRICA

Para a alimentação do medidor foi utilizado o padrão 115AC, apresentado no manual do Nexus 1500+, que utiliza tensões de 100 a 240 V RMS, com frequência de 50 ou 60 Hz. Deve-se tomar o cuidado ao fazer a ligação atentando para a entrada L(+) ser referente ao condutor fase, a N(-) ser ligada ao condutor neutro e a PE o condutor destinado a proteção conforme a Figura 14.

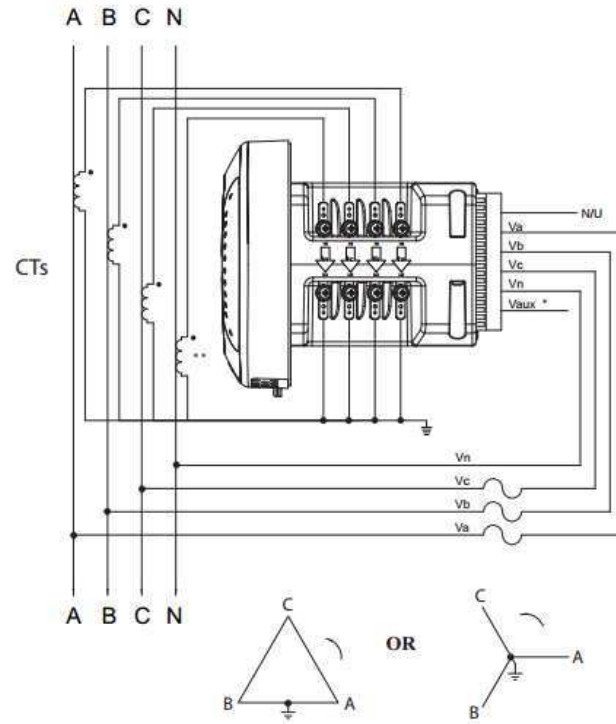
Figura 14 - Ligação para alimentação do Nexus 1500+.



Fonte: (Adaptada manual do Nexus 1500+, 2015).

A próxima ligação que deve ser feita é referente à medição propriamente dita, existem algumas formas de ligações apresentadas no manual do Nexus 1500+. O método escolhido para os ensaios é apresentado na Figura 15. Esse método foi escolhido por sua simplicidade não necessitando de tantos dispositivos e ligações externas. Como a medição foi feita no sistema de baixa tensão (220 V RMS) não era necessário a utilização de transformadores de tensão já que o qualímetro suporta tensões nominais de até 347 V RMS, os únicos dispositivos externos ao qualímetro para a realização do experimento foram os transformadores de corrente já instalados no quadro geral do laboratório.

Figura 15 - Ligação do Nexus 1500+ no circuito a ser avaliado.



Fonte: (Manual do Nexus 1500+, 2015).

3 REALIZAÇÃO DA MEDIÇÃO

Foi montado o arranjo para o teste explicado anteriormente aproveitando os TCs presentes no quadro geral do laboratório, que tem uma relação de conversão de 300:5 A. Também foi aproveitada a instalação elétrica que é utilizada para os medidores já instalados no quadro. O qualímetro ficou instalado durante aproximadamente 16 h, sendo 8 h em um dia com um intervalo entre o período matutino e o vespertino e mais 8 h em outro dia também com um intervalo entre os períodos matutino e vespertino. Após esse tempo foram coletados os dados, foram realizados alguns tratamentos nos dados e por fim foram apresentados os resultados da medição e comparados com os valores limites definidos pela norma. A Figura 16 apresenta uma foto da realização do experimento.

Figura 16 - Medição utilizando o qualímetro Nexus 1500+.



Fonte: Elaborada pelo o próprio autor.

Segundo o Módulo 8 do PRODIST a qualidade da energia pode ser avaliada em relação a qualidade do produto, ou em relação a qualidade do serviço, sendo que nesse trabalho será abordado apenas a qualidade do produto. Em relação à qualidade do produto são divididas duas classes de parâmetros que são: os parâmetros em regime permanente e os em regime transitório, sendo que neste trabalho não será feita a avaliação em regime transitório.

3.1 PARÂMETROS AVALIADOS

Serão apresentados sucintamente os parâmetros utilizados para a avaliação da qualidade de energia elétrica, além das fórmulas ou limites que indiquem sua conformidade. Os parâmetros avaliados serão:

- Tensão em regime permanente;
- Flutuação de tensão;
- Desequilíbrio de tensão;
- Variação de frequência;
- Fator de potência;
- Harmônicos.

3.1.1 TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

O PRODIST afirma que, a tensão a ser contratada nos pontos de conexão pelos acessantes atendidos em tensão igual ou inferior a 1 kV RMS deve ser a tensão nominal do sistema. Porém a norma disponibiliza faixas de tensões que caracterizam as condições do atendimento. Sendo TR a tensão de referência, ADSUP e ADINF, as faixas de tensão adequadas superior e inferior respectivamente e por fim PRSUP e PRINF as faixas de tensão precária superior e inferior respectivamente. As faixas de condições de atendimento são listadas a seguir:

- i. Tensão de Referência (TR);
- ii. Faixa Adequada de Tensão ($TR - \Delta ADINF$, $TR + \Delta ADSUP$);
- iii. Faixas Precárias de Tensão ($TR + \Delta ADSUP$, $TR + \Delta ADSUP + \Delta PRSUP$ ou $TR - \Delta ADINF - \Delta PRINF$, $TR - \Delta ADINF$);
- iv. Faixas Críticas de Tensão ($>TR + \Delta ADSUP + \Delta PRSUP$ ou $<TR - \Delta ADINF - \Delta PRINF$).

Essas variáveis assumem valores diferentes para cada faixa de tensão de atendimento, o módulo 8 do PRODIST fornece 14 tabelas discriminando esses valores. A Tabela 1 apresenta os valores dos limites para tensões de atendimento inferiores a 1 kV, mais especificamente para tensões de linha de 380 V e tensões de fase de 220 V.

Tabela 1 - Tensões nominais iguais ou inferiores a 1 kV (380/220).

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(350 \leq TL \leq 399) / (202 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(331 \leq TL < 350$ ou $399 < TL \leq 403) /$ $(191 \leq TL < 202$ ou $231 < TL \leq 233)$
Crítica	$(TL < 331$ ou $TL > 403) / (TL < 191$ ou $TL > 233)$

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.2 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

“A flutuação de tensão é um fenômeno caracterizado pela variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea.”(PRODIST,2017).

As formulações de cálculo baseiam-se nos índices P_{st} e P_{lt} , que representam a severidade da flutuação de tensão de curta duração e severidade da flutuação de tensão de longa duração. Podendo ainda usar uma correção probabilísticas chamada de $P_{st95\%}$.

O índice P_{st} é calculado por:

$$P_{st} = \sqrt{0,0134 \cdot P_{0,1} + 0,0525 \cdot P_1 + 0,0657 \cdot P_3 + 0,28 \cdot P_{10} + 0,08 \cdot P_{50}} \quad (19)$$

Em que P_i ($i=0,1;1;3;10;50$) corresponde ao nível de flutuação de tensão segundo o IEC 61000-4-15.

O P_{lt} corresponde a um valor de 12 amostras consecutivas de P_{st} como estabelecido na expressão a seguir:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} (P_{st_i})^3} \quad (20)$$

Após o cálculo dos índices P_{st} e P_{lt} , seus resultados são avaliados segundo a Tabela 2, retirada do módulo 8 do PRODIST.

Tabela 2 - Valores de referência para os índices P_{st} e P_{lt} .

Valor de referência	P_{st}	P_{lt}
Adequada	<1	<0,8
Precária	1-2	0,8-1,6
Crítica	>2	>1,6

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.3 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

O desequilíbrio de tensão é um fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, e/ou na defasagem elétrica de 120° entre as tensões de fase do mesmo sistema.

Para sua avaliação é definido o Fator de Desequilíbrio de Tensão (FD), que é calculado segundo a fórmula a seguir:

$$FD\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}}{\sqrt{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (21)$$

Em que a constante β é calculada por:

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad (22)$$

Depois de calculado o FD, para estar em conformidade com a norma deve ter um valor menor que 3% para tensões de atendimento menores ou iguais a 1 kV, e 2% para tensões maiores que 1 kV e menores que 230 kV.

3.1.4 VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA

O sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas ao mesmo devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.

Porém, na ocorrência de distúrbios no sistema de distribuição, as instalações de geração devem garantir que a frequência retorne, no intervalo de tempo de 30 (trinta) segundos após a transgressão, para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração.

3.1.5 FATOR DE POTÊNCIA

Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo, de acordo com regulamentação vigente.

3.1.6 HARMÔNICOS

O módulo 8 do PRODIST identifica quatro grandezas relacionadas a distorção causando por harmônicas.

- Distorção harmônica total de tensão (DTT%);
- Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de três (DTT_p %);
- Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de três (DTT_i %);
- Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de três (DTT₃ %).

Elas devem ser calculadas separadamente e seus valores devem seguir os limites apresentados na Tabela 2.

Tabela 3 - Limites de distorção harmônica.

Indicador	Tensão nominal Vn		
	Vn<1 kV	1 kV<Vn<69 kV	69 kV<Vn<230 kV
DTT	10,0%	8,0%	5,0%
DTT _p	2,5%	2,0%	1,0%
DTT _i	7,5%	6,0%	4,0%
DTT ₃	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: Elaborada pelo autor.

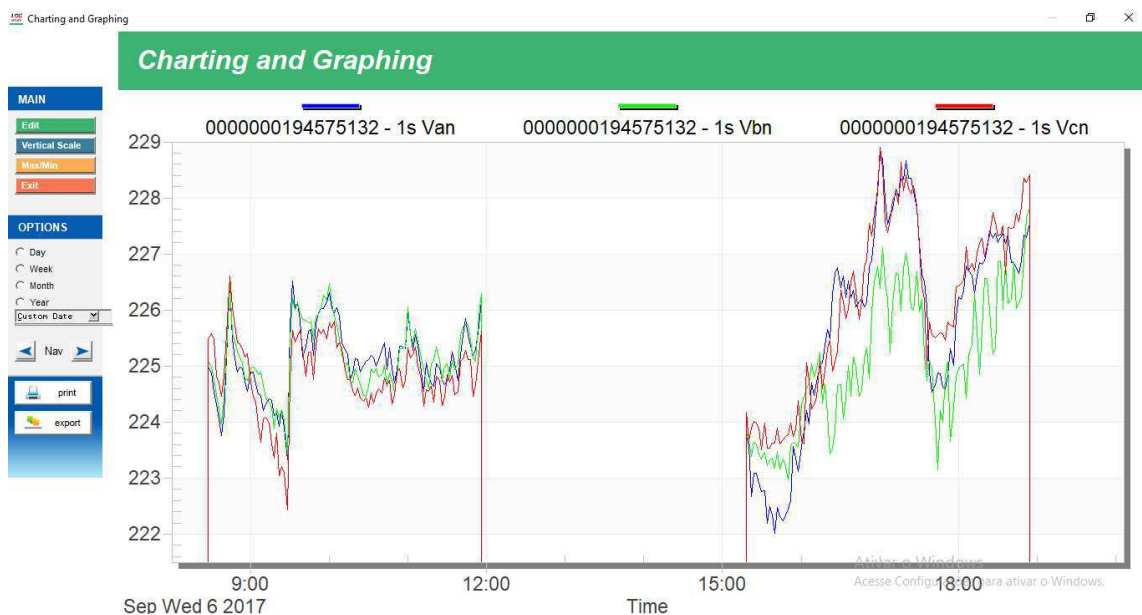
3.2 DISCURSÃO DOS RESULTADOS

Após a realização do experimento os resultados serão apresentados a seguir.

3.2.1 TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

Embora a tensão em regime permanente estivesse sempre com um valor acima do nominal, ela permaneceu dentro da faixa limite que tem um valor mínimo de 202 V e máximo de 231 V. Considerando então a tensão de regime permanente adequada de acordo com a Tabela 1. Os valores máximos e mínimos em cada fase são apresentados na Tabela 4, para o primeiro dia de medição e na Tabela 5 para o segundo dia de medição. Os gráficos das medições das tensões ao longo do tempo estão apresentados na Figura 17 e na Figura 18.

Figura 17 - Tensão em regime permanente (dia 06/09/17).



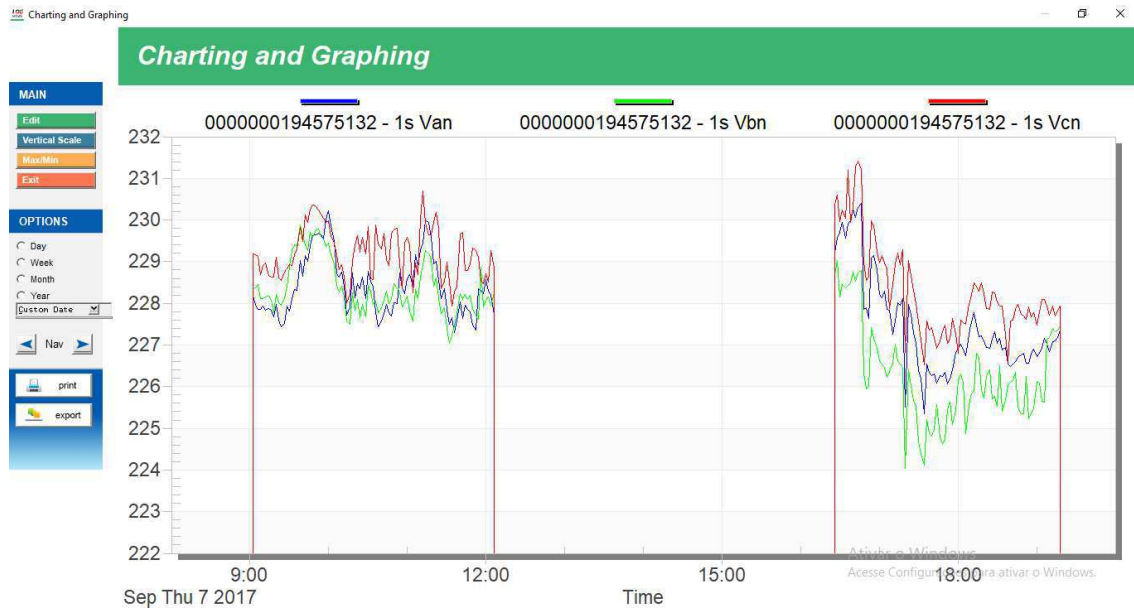
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 4 - Valores de tensão máximos e mínimos (dia 06/09/17).

Tensões por fase	Valor máximo (V)	Valor mínimo (V)
Van	228,747	222,015
Vbn	227,81	222,973
Vcn	228,91	222,431

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 18 - Tensão em regime permanente (dia 07/09/17).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 5 - Valores de tensão máximos e mínimos (dia 07/09/17).

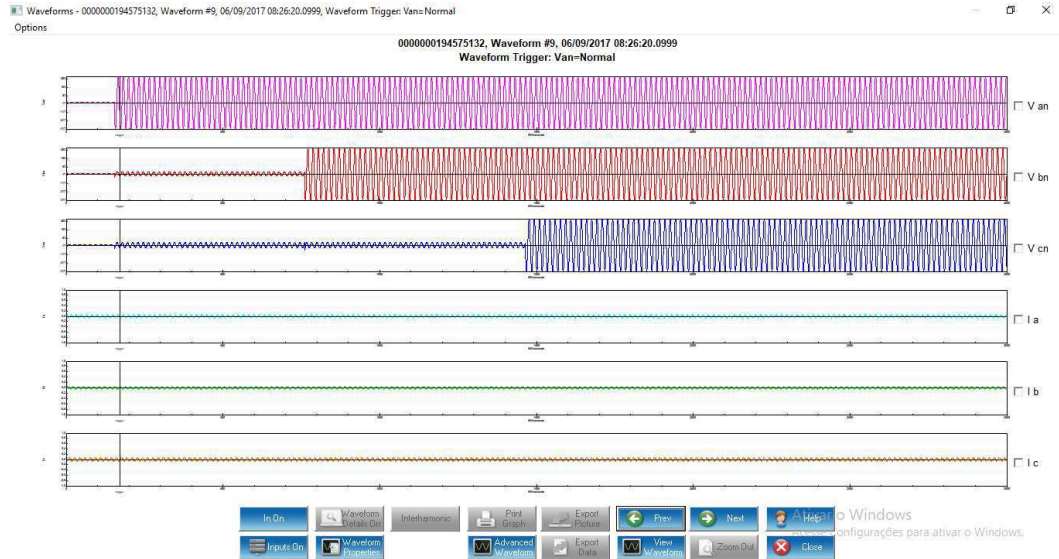
Tensões por fase	Valor máximo (V)	Valor mínimo (V)
Van	230,406	225,353
Vbn	229,884	224,04
Vcn	231,42	226,514

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.2 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

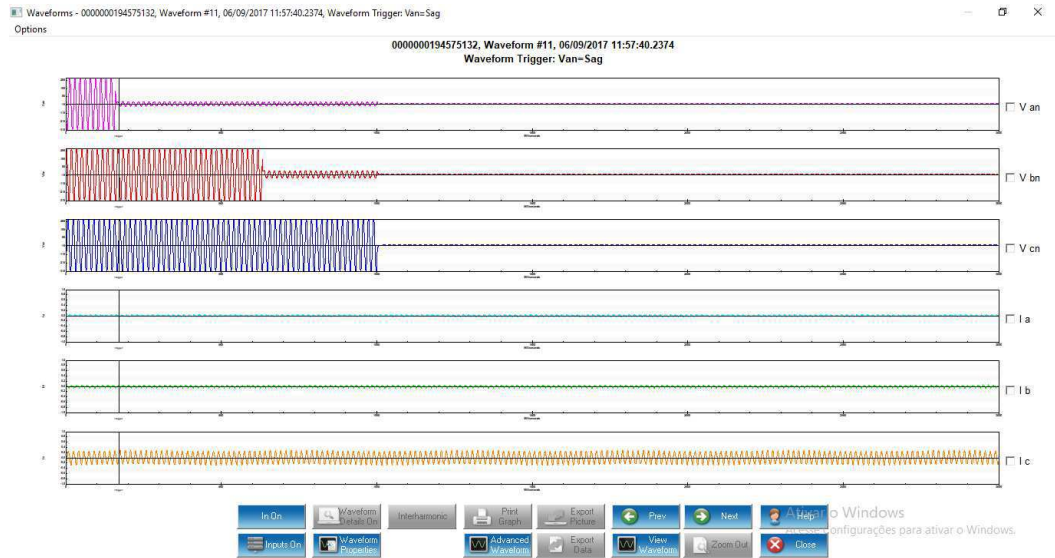
Os ensaios referentes à medição dos parâmetros da QEE segundo o PRODIST devem ser feitos de modo contínuo por 7 dias porém, devido a impossibilidade de manter o equipamento instalado durante todo esse período de tempo, os ensaios ocorreram de forma intervalada. Devido a isso durante as energizações e desenergizações os índices de flutuação de tensão apresentaram valores bastante elevados, disparando *triggers* e salvando as formas de onda durante essas perturbações como apresentado nas Figuras 19 e 20. Contudo o item 9.1.10.1 do módulo 8 do PRODIST prevê a expurgação de dados não válidos. Considerando então as medidas durante a instalação e desinstalação do equipamento na rede como não válidas os índices de flutuação de tensão se apresentaram adequados, sendo os índices P_{st} inferiores a 1 e os P_{lt} inferiores a 0,8. A Tabela 6 apresenta os índices em cada fase para o primeiro dia de ensaio, enquanto que a Tabela 7 apresenta os índices para o segundo dia de ensaio.

Figura 19 - *Trigger* disparado devido a ligação do aparelho na rede elétrica.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 20 - *Trigger* disparado devido a remoção do aparelho na rede elétrica.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 6 - Índices P_{st} e P_{lt} (dia 06/09/17).

Tensões por fase	Valor máximo	
	P_{st}	P_{lt}
Van	0,283	0,197
Vbn	0,466	0,357
Vcn	0,453	0,253

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 7 - Índices P_{st} e P_{lt} (dia 07/09/17).

Tensões por fase	Valor máximo	
	P_{st}	P_{lt}
Van	0,290	0,159
Vbn	0,541	0,301
Vcn	0,524	0,289

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.3 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

O Nexus 1500+ não apresenta o índice de desequilíbrio de tensão entre a lista de valores salvos. Esse índice instantâneo pode ser obtido conectando o computador ao Nexus 1500+ durante as medições.

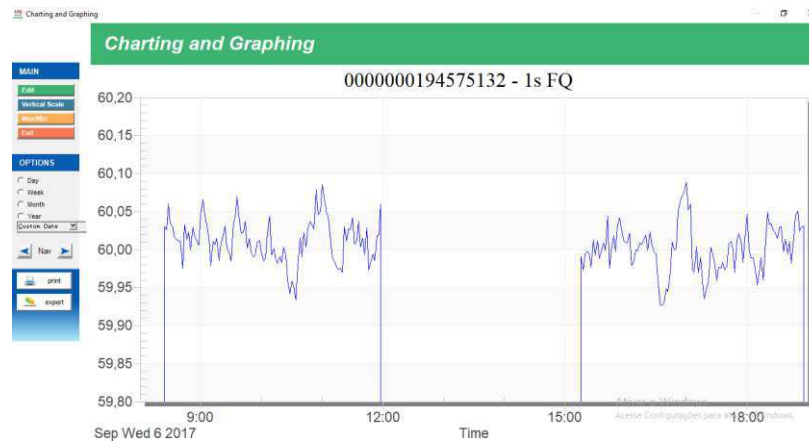
Porém, para obter o índice ao longo de todo o tempo são utilizados os valores das tensões de linha exportados na forma de um arquivo .txt e então avaliados utilizando uma rotina do Matlab encontrada no apêndice A.

O valor FD médio obtido foi de 0,2475%, sendo assim é averiguado que o desequilíbrio entre as tensões respeita o limite máximo de 3% estando adequado de acordo com a norma.

3.2.4 VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA

A variação de frequência permaneceu dentro de seus limites de funcionamento que são 59,9 Hz e 60,1 Hz. Sendo assim a frequência se comportou de acordo com as exigências feitas no módulo 8 do PRODIST. A Figura 21 mostra a frequência ao longo do primeiro dia de ensaio e a Figura 22 mostra a frequência ao longo do segundo dia de ensaio. Os valores máximos e mínimos da frequência são apresentados na Tabela 6, para o primeiro dia de medição, e na Tabela 7, para o segundo dia de medição.

Figura 21 - Frequência (dia 06/09/17).



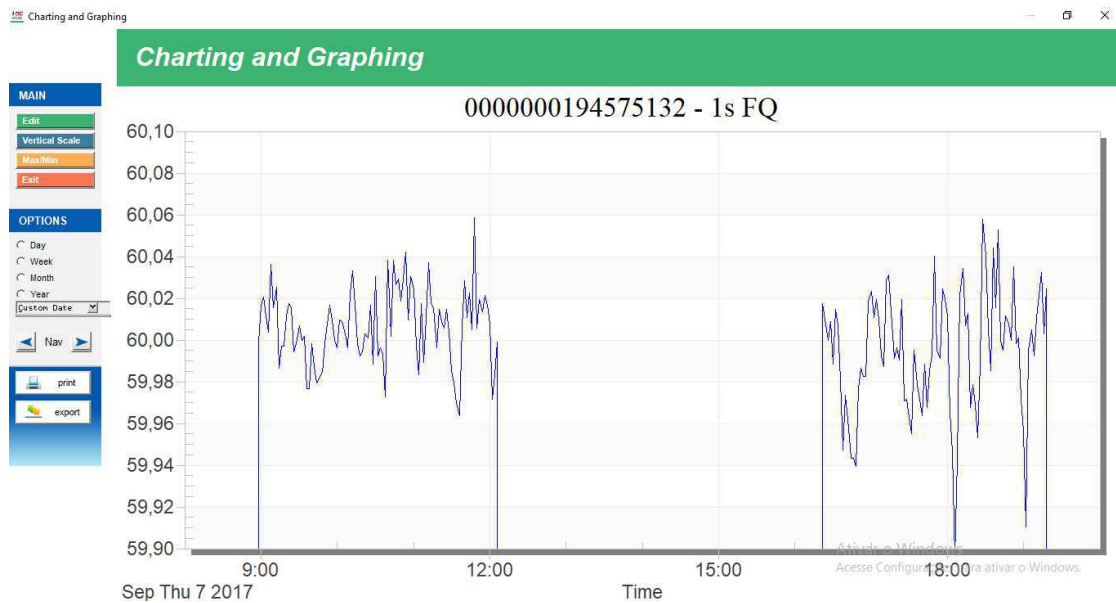
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 8 - Valores de frequência máximos e mínimos (dia 06/09/17).

Frequência	Valor máximo (Hz)	Valor mínimo (Hz)
f	60,089	59,927

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 22 - Frequência (dia 07/09/17).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 9 - Valores de frequência máximos e mínimos (dia 07/09/17).

Frequência	Valor máximo (Hz)	Valor mínimo (Hz)
f	60,059	59,896

Fonte: Elaborada pelo autor.

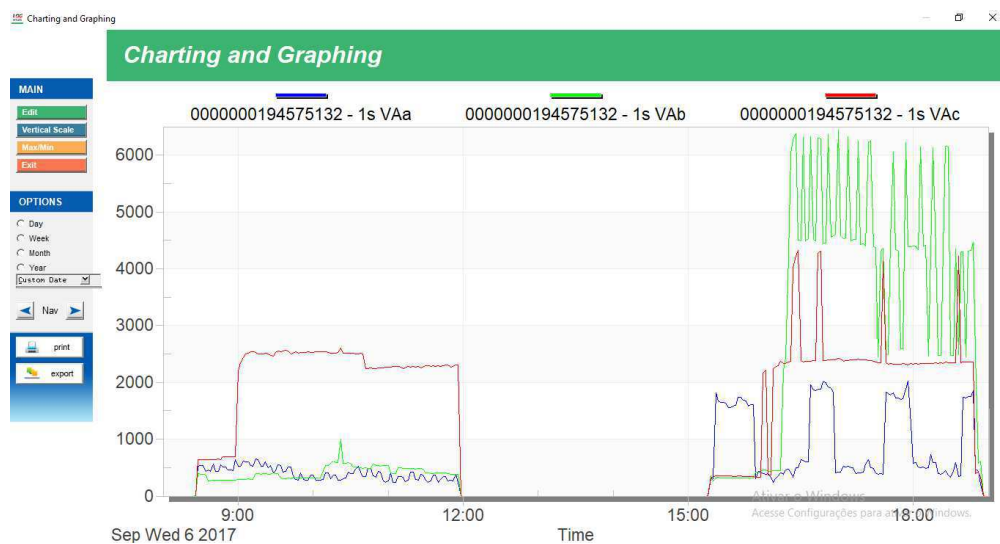
3.2.5 FATOR DE POTÊNCIA

Como já mencionado, devido a impossibilidade de manter o equipamento instalado durante o período de tempo indicado pela norma, os ensaios ocorreram de forma intervalada. Por isso os resultados do relatório da QEE apresentado pelo Nexus1500+ não podem ser utilizados.

Para obter o fator de potência ao longo de todo o tempo são utilizados os valores das potências aparentes e potências ativas exportados na forma de um arquivo .txt e então avaliados utilizando uma rotina do Matlab encontrada no apêndice A.

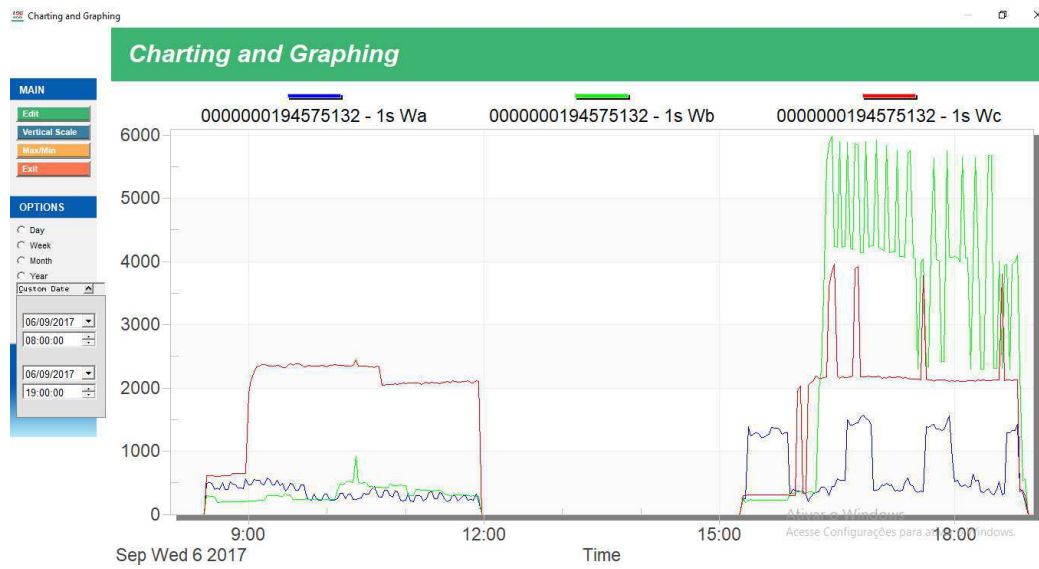
As Figuras 23 e 25 apresentam as potências aparentes medidas em cada fase no primeiro e segundo dia de medições respectivamente. As Figuras 24 e 26 apresentam as potências ativas medidas em cada fase no primeiro e segundo dia de medições respectivamente. É possível notar nos gráficos das potências diversos picos de consumo, eles representam a atuação dos diversos equipamentos de condicionamento de ar do prédio, que ligam e desligam conforme seja necessário para manter a temperatura nas salas. No primeiro dia o fator de potência mais baixo durante as medições correspondeu 0,7623 e o valor médio foi de 0,8928, ambos com caráter indutivo e com valores inferiores ao limite estabelecido no PRODIST que corresponde a 0,92. No segundo dia o fator de potência mais baixo durante as medições correspondeu 0,7771 e o valor médio foi de 0,8893, ambos com caráter indutivo e com valores inferiores ao limite estabelecido no PRODIST que corresponde a 0,92. Sendo assim o fator de potência não se apresenta adequado.

Figura 23 - Potência aparente (dia 06/09/17).



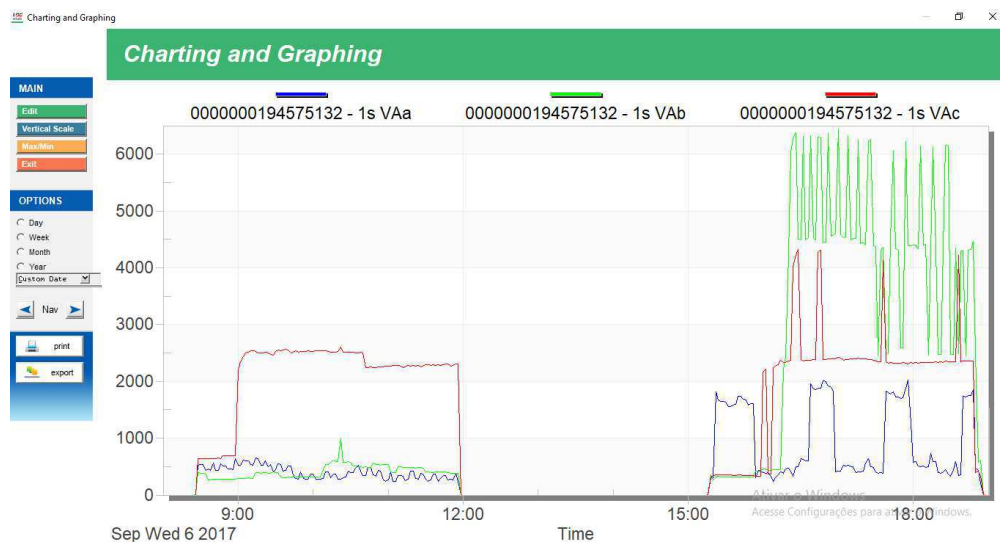
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 24 - Potência ativa (dia 06/09/17).



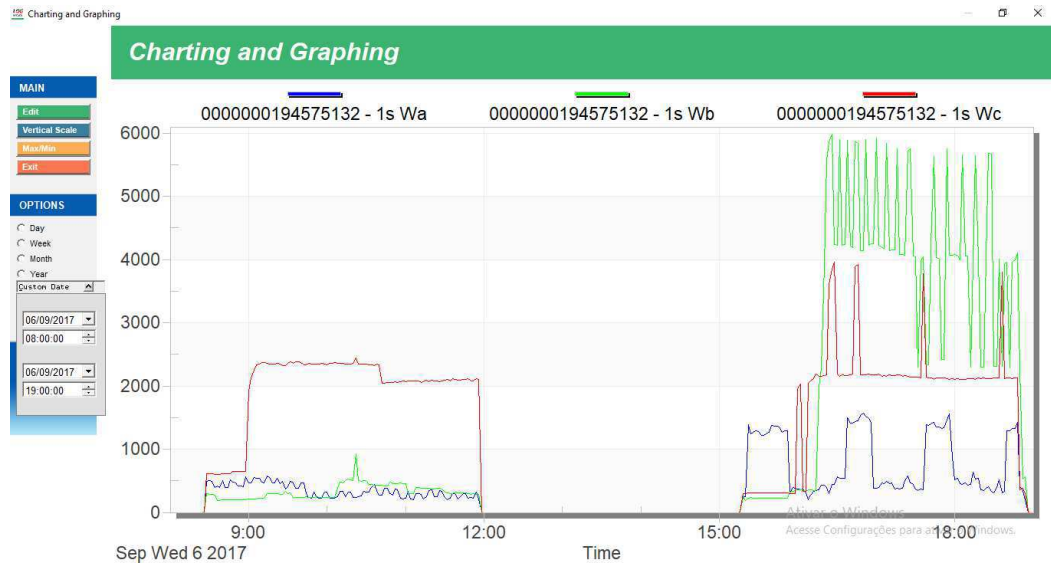
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 25 - Potência aparente (dia 07/09/17).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 26 - Potência ativa (dia 07/09/17).

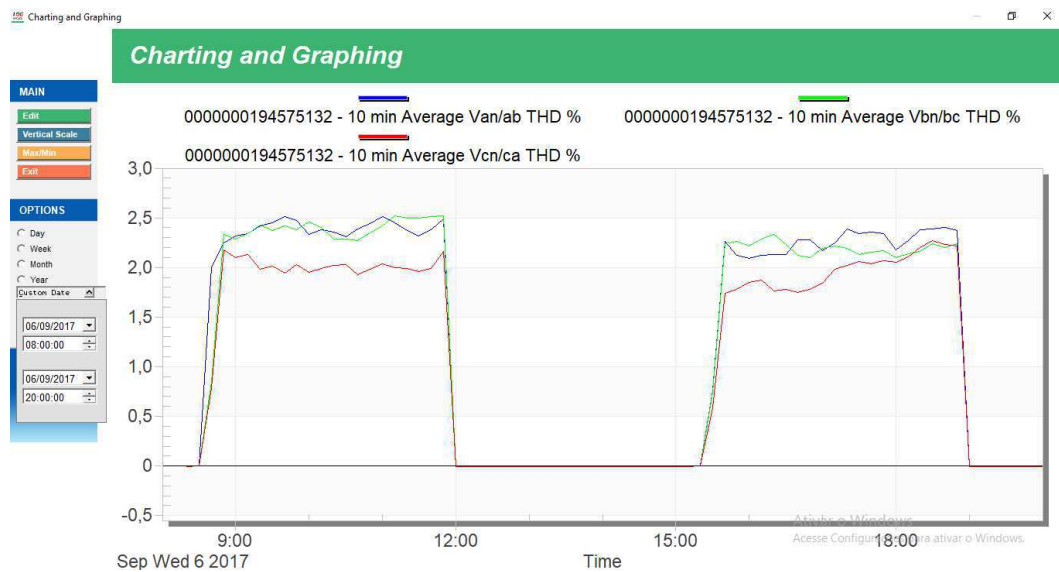


Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.6 HARMÔNICOS

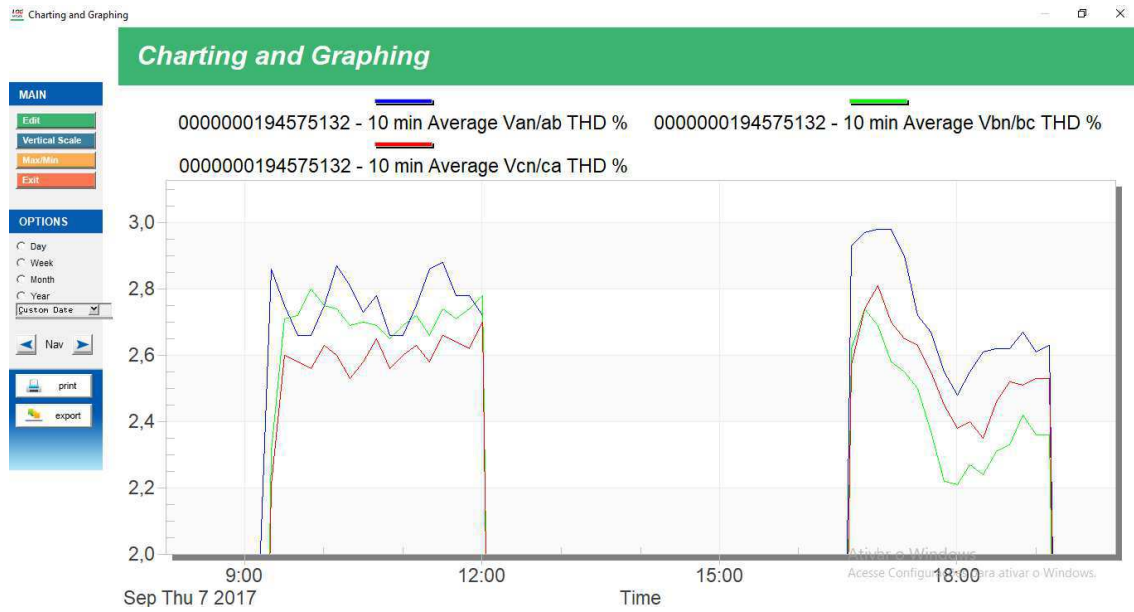
O qualímetro armazena a distorção harmônica total da tensão (DTT) de cada sinal de tensão. Nas Figuras 27 e 28 são apresentadas as distorções harmônicas totais ao longo dos dias de experimento para cada fase.

Figura 27 - Distorção harmônica total dia (06/09/17).



Fonte: Elaborada pelo autor.

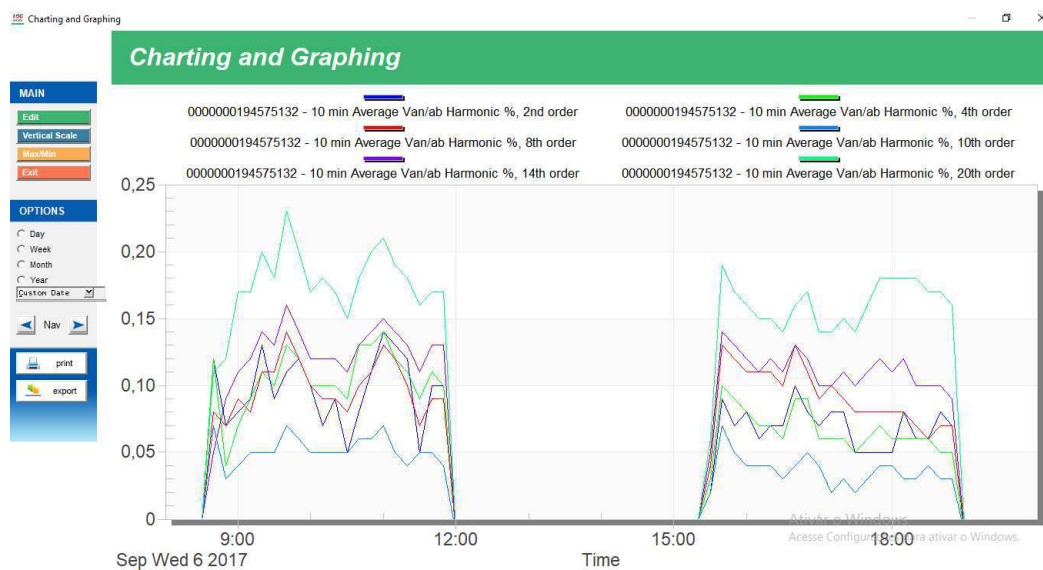
Figura 28 - Distorção harmônica total dia (07/09/17).



Fonte: Elaborada pelo autor.

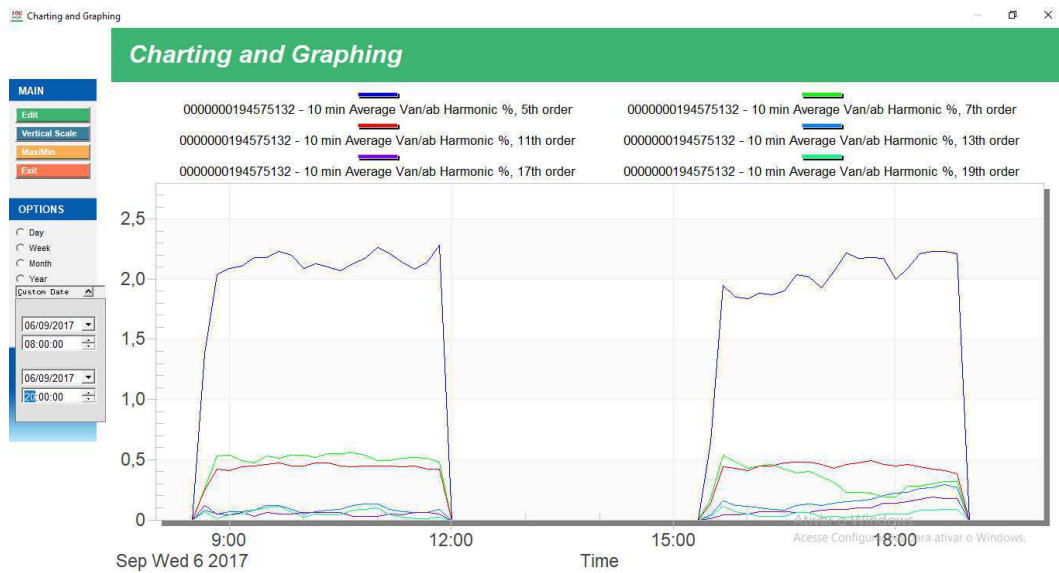
O equipamento também armazena até a vigésima quinta harmônica de cada sinal de tensão. As figuras seguintes apresentam as 6 primeiras harmônicas salvas referentes a tensão de fase Van. Foram apresentadas na forma gráfica apenas 6 harmônicas, devido esse ser o limite de curvas apresentadas de forma gráfica pelo programa.

Figura 29 - Harmônicas pares não múltiplas de 3 (dia 06/09/17).



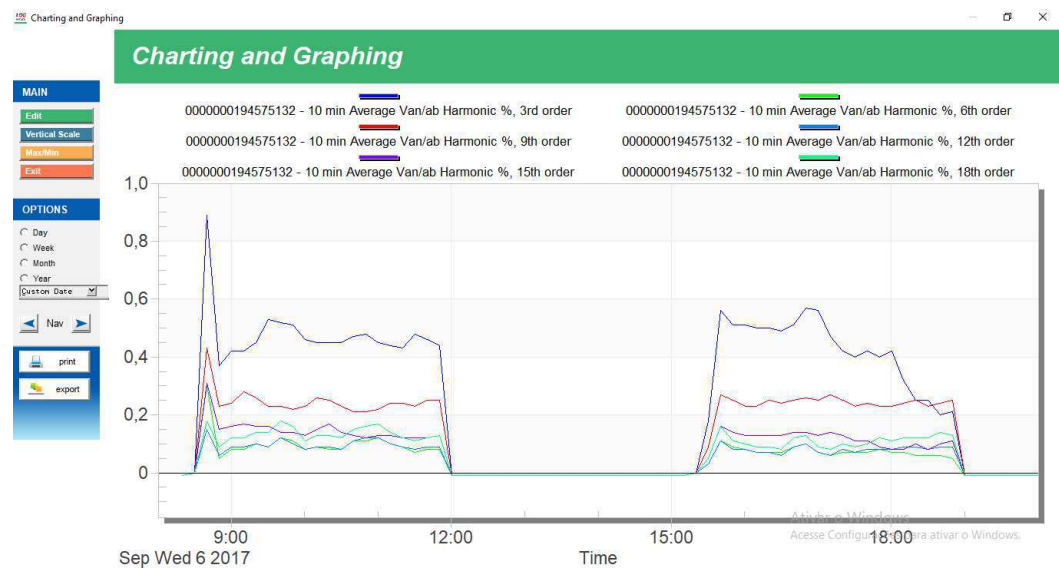
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 30 - Harmônicas ímpares não múltiplas de 3 (dia 06/09/17).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 31 - Harmônicas múltiplas de 3 (dia 06/09/17).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para ser possível fazer a avaliação das harmônicas é utilizado a DTT obtida pelos dados salvos pelo Nexus 1500+, e são utilizadas as demais harmônicas salvas para calcular as distorções referentes as harmônicas pares não múltiplas de 3, ímpares não múltiplas de 3 e as múltiplas de 3.

Utilizando os dados obtidos, e comparando com os valores limites para cada grupo de harmônicas, foi montada a Tabela 10 referente ao primeiro dia de experimento e a Tabela 11 referente ao segundo dia de experimento. Os resultados se apresentaram dentro dos limites estabelecidos pela norma, sendo assim esse parâmetro da QEE foi considerado adequado.

Tabela 10 - Índices de distorção harmônica (dia 06/09/17).

Tensões por Fase	DTT (%)	DTTp (%)	DTTi (%)	DTT3 (%)
Van	1,988511	0,071915	0,457376	0,160887
Vbn	1,937447	0,065851	0,442305	0,106418
Vcn	1,684043	0,048587	0,397801	0,075616

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 11 - Índices de distorção harmônica (dia 07/09/17).

Tensões por Fase	DTT (%)	DTTp (%)	DTTi (%)	DTT3 (%)
Van	2,713529	0,059673	0,572617	0,076313
Vbn	2,562727	0,071268	0,545164	0,073692
Vcn	2,56697	0,063598	0,521028	0,070935

Fonte: Elaborada pelo autor.

4 CONCLUSÃO

O estágio realizado foi uma oportunidade para o aluno adquirir e desenvolver novas competências, como também para comprovar que os conhecimentos adquiridos ao longo do curso são essenciais na formação de um engenheiro eletricista.

O contato com o Nexus 1500+ foi de grande valia para a consolidação sobre os conhecimentos referentes à qualidade da energia elétrica, como também uma experiência enriquecedora sobre a utilização de equipamentos de alto desempenho.

Após o estudo sobre a QEE no LSP, os resultados obtidos se mostraram de acordo com a norma em quase todos os parâmetros avaliados, o único parâmetro que se apresentou fora dos limites aceitáveis foi o fator de potência, que pode ser corrigido com a instalação de um banco de capacitores no local.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. (2017). *Módulo8 Prodist Revisão 8*. Acesso em 23 de 08 de 2017, disponível em ANEEL: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbd3058d19.
- DECKMANN, S.M. ;POMILIO, J.A. (2016). *Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica*. Curso, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas.
- ELECTRO INDUSTRIES/GAUGE TECH. (2015). *Communicator EXT and MeterManager EXT Software User Manual V.2.04_E107707*. Manual do usuário.
- ELECTRO INDUSTRIES/GAUGE TECH (2015). *Nexus 1500+ New Generation Power Quality Meter User Manual V.1.01_E154713*. Manual do usuário.
- ROCHA, J.E. (2016). *Qualidade da Energia Elétrica*. Apostila, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Eletrotécnica, Curitiba.

APÊNDICE A – CÓDIGO DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

```

% =====
% ===== TRATAMENTO DADOS NEXUS=====
% ===== DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO=====
% V1
% AISLAN GALDINO DOS SANTOS
%
%
=====

close all
clear all
clc

% Carrega os dados
% =====
load DATA1.txt
load DATA2.txt
load DATA3.txt

Vab = DATA1(:,1);
Vbc = DATA2(:,1);
Vca = DATA3(:,1);
cont = 1;
qnt_dados = length(DATA1);
qnt_dados2 = length(DATA2);
qnt_dados3 = length(DATA3);
beta = 0;
FD = 0;

while cont < (qnt_dados)

    % beta
    % =====

    beta(cont) =
(Vab(cont)^4+Vbc(cont)^4+Vca(cont)^4)/((Vab(cont)^2+Vbc(cont)^2+Vca(cont)^2)^2);

    % FD%
    % =====

    FD(cont) = 100*abs(sqrt((1-sqrt(3-6*beta))/(1+sqrt(3-6*beta))));

    cont = cont + 1;

end

```

```
% Plota o sinal amostrado
```

```
% =====
```

```
FDmax = max(FD)
```

```
FDmed = mean(FD)
```

```
figure
```

```
plot(FD,'LineWidth',[2]);
```

```
axis([1,cont-1,0,1])
```

```
title('Fator de Desequilíbrio')
```

```
xlabel('Amostras', 'FontSize',10)
```

```
ylabel('FD%', 'FontSize', 10)
```

```
grid ON;
```

APÊNDICE B – CÓDIGO FATOR DE POTÊNCIA

```

%=====
%===== TRATAMENTO DADOS NEXUS =====
%===== FATOR DE POTÊNCIA =====
% V1
% AISLAN GALDINO DOS SANTOS
%
%=====
close all
clear all
clc

% Carrega os dados
% =====
load DATA1.txt
load DATA2.txt
load DATA3.txt
load DATA4.txt
load DATA5.txt
load DATA6.txt

S1 = DATA1(:,1);
S2 = DATA2(:,1);
S3 = DATA3(:,1);
P1 = DATA4(:,1);
P2 = DATA5(:,1);
P3 = DATA6(:,1);
cont = 1;
qnt_dados = length(DATA1);
FP = 0;

while cont <= (qnt_dados)

    % Potencias trifásicas
    % =====

    St(cont) = S1(cont)+S2(cont)+S3(cont);

    Pt(cont) = P1(cont)+P2(cont)+P3(cont);

    % FP%
    % =====

    FP(cont) = Pt(cont)/St(cont);

```

```
    cont = cont + 1;

end

FPmedio = 0;

for n = 1:cont-1

    FPmedio = FPmedio + FP(n);

end

% Plota o sinal amostrado
% =====

FPmin = min(FP)

FPmedio = FPmedio/qnt_dados

figure
plot(FP,'LineWidth',[2]);
axis([1,cont-1,0,1.5])
title('Fator de Desequilíbrio')
xlabel('Amostras','FontSize',10)
ylabel('FP%', 'FontSize', 10)
grid ON;
```

APÊNDICE C – CÓDIGO HARMÔNICAS

```

%=====
%=====TRATAMENTO DADOS NEXUS =====
%=====HARMONICAS=====
% V1
% AISLAN GALDINO DOS SANTOS
%
% =====

close all
clear all
clc

% Carrega os dados
% =====
load DATA1.txt
load DATA2.txt
load DATA3.txt
load DATA4.txt
load DATA5.txt
load DATA6.txt
load DATA7.txt
load DATA8.txt

H1 = DATA1(:,1);
H2 = DATA2(:,1);
H3 = DATA3(:,1);
H4 = DATA4(:,1);
H5 = DATA5(:,1);
H6 = DATA6(:,1);
H7 = DATA7(:,1);
H8 = DATA8(:,1);
cont = 1;
qnt_dados = length(DATA1);

while cont <= (qnt_dados)

    % Distorção total
    % =====

    DTT(cont) = sqrt(H1^2+H2^2+H3^2+H4^2+H5^2+H6^2+H7^2+H8^2)

    cont = cont + 1;

end

```

```
% Plota o sinal amostrado
% =====

figure
plot(DTT,'LineWidth',[2]);
title('Distorções Harmônicas')
xlabel('Amostras', 'FontSize',10)
ylabel('DTT%', 'FontSize', 10)
grid ON;
```