

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JOSÉ ORLANDO S. PEDROSO

**AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE DE POTÊNCIA:  
CLÁSSICO, BUDEANU E IEEE 1459-2010 POR MEIO DE MEDIÇÕES  
EM LABORATÓRIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2019

JOSÉ ORLANDO S. PEDROSO

**AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE DE POTÊNCIA:  
CLÁSSICO, BUDEANU E IEEE 1459-2010 POR MEIO DE MEDIÇÕES  
EM LABORATÓRIO**

Proposta para trabalho de Conclusão de Curso  
em Engenharia Elétrica, do Departamento  
Acadêmico de Engenharia Elétrica, da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Murilo da Silva

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2019



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Cornélio Procópio  
Departamento Acadêmico de Elétrica  
Curso de Engenharia Industrial Elétrica**



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**José Orlando Seraphim Pedroso**

**AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE DE POTÊNCIA: CLÁSSICO, BUDEANU E  
IEEE 1459-2010 POR MEIO DE MEDIÇÕES EM LABORATÓRIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 15:50hs do dia 27/06/2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Industrial Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof(a). Dr(a). Murilo da Silva - Presidente (Orientador)

---

Prof(a). Dr(a). Luis Fernando Caparroz Duarte - (Membro)

---

Prof(a). Esp. Carlos Alberto Paschoalino - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

“Ainda que eu tivesse o dom da profecia, o conhecimento de todos os mistérios e de toda a ciência; ainda que eu tivesse toda a fé, a ponto de transportar montanhas, se eu não tivesse o amor, eu não seria nada.” 1 Coríntios 2-3

## RESUMO

PEDROSO, José Orlando Seraphim. AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE DE POTÊNCIA: CLÁSSICO, BUDEANU E IEEE 1459 POR MEIO DE MEDIÇÕES EM LABORATÓRIO. 2019. XX f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, do Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

Este trabalho propõe a análise dos métodos de potência mais difundidos, o método clássico, o método de Budeanu e mais recente o método IEEE 1459-2010 a fim de comparar e analisar seus resultados frente a condições de ondas de tensão e corrente não senoidais, que são encontrados cada vez mais nos dias atuais em residências, empresas e etc. Portanto, o objetivo é analisar os resultados dos métodos de potência e fazer um comparativo quantitativo de possíveis desvios na medição realizada por estes métodos se aplicados a medidores de faturamento de energia elétrica. O desenvolvimento deste trabalho foi realizado por meio de medições realizadas em laboratório, aquisitados via DAQ e osciloscópio e cálculos utilizando as metodologias de potência descritas acima. Como resultado foi observado que como o método clássico não contempla em seus cálculos a parte harmônica do sistema em análise, os seus resultados são menos satisfatórios quando comparado com os outros dois métodos de análise de potência Budeanu e IEEE 1459-2010. Nota-se também, que o diagnóstico feito através do método IEEE 1459 possui uma análise muito mais detalhada do sistema possuindo um melhor entendimento.

**Palavras-chave:** Métodos de análise de potência. Equipamentos de medição. Harmônicas.

## ABSTRACT

PEDROSO, José Orlando Seraphim. EVALUATION OF METHODS OF POWER ANALYSIS: CLASSIC, BUDEANU AND IEEE 1459 BY MEANS OF LABORATORY MEASUREMENTS. Final Thesis (Graduation) in Electrical Engineering Course, Electrical Engineering Academic Department, Technological Federal University of Paraná, Cornélio Procópio, 2019.

This paper proposes the analysis of the most widespread power methods, the classic method, the Budeanu method and more recently the IEEE 1459-2010 in order to compare and analyze the results concerning conditions of voltage waves and non-sinusoidal currents, which are found increasingly on current days in homes, companies, etc. Therefore, the purpose is analyzing the power method results and make a quantitative comparison of possible diversion in the measurement performed by these methods if applied to electric energy billing measurer. The development of this paper was carried out through laboratory measurements, acquired by DAQ and oscilloscope and calculations using the methodologies described above. As a result, it was observed that as the classical method does not contemplate in its calculations the harmonic part of the system under analysis, its results are less satisfactory when compared to the other two methods of Budeanu and IEEE 1459-2010 power analysis. It is also noted that the diagnosis made through the IEEE 1459 method has a much more detailed analysis of the system having a better understanding.

**Keywords:** Analysis power methods. Measurement Equipments, Harmonics.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Teorias de potências propostas ao longo dos últimos anos.....	22
Tabela 2: Resumo de agrupamentos das unidades em sistemas monofásicos não senoidais...	33
Tabela 3: Processo das aquisições dos sinais de tensão e corrente.....	40
Tabela 4: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqusitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 60° (A2) e carga 61Ω (R1).....	43
Tabela 5: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqusitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 60° (A2) e carga 30,5Ω (R2). ....	46
Tabela 6: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqusitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 60° (A2) e carga 20,3Ω (R3). ....	49
Tabela 7: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqusitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 90° (A3) e carga 61Ω (R1).....	52
Tabela 8: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqusitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 90° (A3) e carga 30,5Ω (R2). ....	55
Tabela 9: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqusitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 90° (A3) e carga 20,3Ω (R3). ....	58
Tabela 10: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqusitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 45° (A1) e carga 61Ω (R1). ....	68
Tabela 11: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqusitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 45° (A1) e carga 30,5Ω (R2). ....	71
Tabela 12: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqusitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 45° (A1) e carga 20,3Ω (R3). ....	74
Tabela 13: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqusitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 330° (A4) e carga 61Ω (R1). ....	77

Tabela 14: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqisitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo $330^\circ$ (A4) e carga $30,5\Omega$ (R2). .....	80
Tabela 15: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqisitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo $330^\circ$ (A4) e carga $20,3\Omega$ (R3). .....	83

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distorção causada por uma resistência não linear simples.....	19
Figura 2: Representação em série de Fourier de uma forma de onda distorcida.....	20
Figura 3: Sistema de alimentação monofásico.....	23
Figura 4: Conceitos convencionais de potência: (a) formas de onda de tensão e corrente; (b) parcelas de potência ativa, reativa e instantânea.....	25
Figura 5: Representação das potências utilizando o triangulo de potência. ....	26
Figura 6: Potências aparente, ativa e reativa para sinais com 3º harmônico.....	28
Figura 7: Decomposição da potência aparente proposta pela IEEE.....	33
Figura 8: Placa de condicionamento.....	35
Figura 9: Diagrama de Bode do filtro utilizado na placa de condicionamento. ....	35
Figura 10: Imagem ilustrativa da NI USB-6211. ....	36
Figura 11: Osciloscópio digital de armazenamento Tektronix. ....	37
Figura 12: Bancada experimental. ....	38
Figura 13: Fluxograma da montagem experimental para levantamento dos parâmetros. ....	38
Figura 14: Sinais de tensão e corrente adquiridos pela DAQ. ....	41
Figura 15: Harmônicos de tensão adquiridos pela DAQ.....	41
Figura 16: Harmônicos de corrente adquiridos pela DAQ. ....	41
Figura 17: Sinais de tensão e corrente adquiridos pelo osciloscópio.....	42
Figura 18: Harmônicos de tensão adquiridos pelo osciloscópio.....	42
Figura 19: Harmônicos de corrente adquiridos pelo osciloscópio.....	42
Figura 20: Sinais de tensão e corrente adquiridos pela DAQ.....	44
Figura 21: Harmônicos de tensão adquiridos pela DAQ.....	44
Figura 22: Harmônicos de corrente adquiridos pela DAQ.....	44
Figura 23: Sinais de tensão e corrente adquiridos pelo osciloscópio.....	45
Figura 24: Harmônicos de tensão adquiridos pelo osciloscópio.....	45
Figura 25: Harmônicos de corrente adquiridos pelo osciloscópio.....	45
Figura 26: Sinais de tensão e corrente adquiridos pela DAQ.....	47
Figura 27: Harmônicos de tensão adquiridos pela DAQ.....	47
Figura 28: Harmônicos de corrente adquiridos pela DAQ.....	47
Figura 29: Sinais de tensão e corrente adquiridos pelo osciloscópio.....	48
Figura 30: Harmônicos de tensão adquiridos pelo osciloscópio.....	48
Figura 31: Harmônicos de corrente adquiridos pelo osciloscópio.....	48

Figura 32: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.....	50
Figura 33: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.....	50
Figura 34: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.....	50
Figura 35: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	51
Figura 36: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.....	51
Figura 37: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	51
Figura 38: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.....	53
Figura 39: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.....	53
Figura 40: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.....	53
Figura 41: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	54
Figura 42: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.....	54
Figura 43: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	54
Figura 44: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.....	56
Figura 45: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.....	56
Figura 46: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.....	56
Figura 47: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	57
Figura 48: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.....	57
Figura 49: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	57
Figura 50: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.....	66
Figura 51: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.....	66
Figura 52: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.....	66
Figura 53: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	67
Figura 54: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.....	67
Figura 55: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	67
Figura 56: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.....	69
Figura 57: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.....	69
Figura 58: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.....	69
Figura 59: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	70
Figura 60: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.....	70
Figura 61: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	70
Figura 62: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.....	72
Figura 63: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.....	72
Figura 64: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.....	72
Figura 65: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	73

Figura 66: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.....	73
Figura 67: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	73
Figura 68: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.....	75
Figura 69: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.....	75
Figura 70: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.....	75
Figura 71: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	76
Figura 72: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.....	76
Figura 73: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	76
Figura 74: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.....	78
Figura 75: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.....	78
Figura 76: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.....	78
Figura 77: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	79
Figura 78: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.....	79
Figura 79: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	79
Figura 80: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.....	81
Figura 81: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.....	81
Figura 82: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.....	81
Figura 83: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	82
Figura 84: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.....	82
Figura 85: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.....	82

## SUMARIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	17
1.1.2 OBJETIVO ESPECIFICOS.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
2.1 HARMÔNICOS NO SISTEMA ELÉTRICO.....	19
2.2 DEFINIÇÕES DE POTÊNCIAS ELÉTRICAS.....	21
2.2.1 Método clássico para medição de potência.....	23
2.2.2 Proposição de Budeanu.....	26
2.2.3 Proposição da norma IEEE 1459.....	29
<b>3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>	<b>34</b>
3.1 Placa de condicionamento de sinal.....	36
3.2 Aquisição das grandezas através da DAQ-6211.....	36
3.3 Osciloscópio digital de armazenamento Tektronix.....	37
3.4 Montagem experimental.....	37
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
<b>5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>59</b>
APENDICE A.....	61
APENDICE B.....	65
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>84</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Em meados de 1878, Thomas Edison desenvolveu a lâmpada incandescente. A ideia de iluminação elétrica não era nova, e vários pesquisadores já trabalhavam em cima dessa ideia, no entanto, nada tinha sido desenvolvido. Com esta invenção, Thomas Edison percebeu a necessidade de um sistema de distribuição de energia elétrica visando a iluminação pública.

Em setembro de 1882, Thomas Edison inaugurou o primeiro sistema de distribuição elétrica comercial do mundo fornecendo 110 volts em corrente contínua (DC), localizada em Manhattan. A era da eletricidade tinha começado.

Como muitos pesquisadores já estavam trabalhando em cima dessa ideia de transmissão de energia, em 1896, George Westinghouse colocou em prática estações geradoras de energia elétrica em corrente alternada (AC) distantes dos centros de consumo.

Desde então, o sistema de distribuição de energia começou a mudar a vida das pessoas, e com o constante crescimento da demanda, o aumento dos estudos tecnológicos foi intenso tanto para geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Em 1905, Lee de Forest inventou o tríodo e com isso inicia-se a era da eletrônica. Conseqüentemente a necessidade de uma “energia limpa”, que não interferisse no bom funcionamento dos equipamentos eletrônicos.

Desde de 1920, os problemas de distorção de onda de tensão e corrente surgiram no sistema de energia, devido à utilização de máquinas de corrente alternada e motores de indução. Apesar da evolução e melhorias dessas máquinas para a redução de harmônicas. Com o aumento e a introdução de mecanismos de velocidade regulável, conversores estáticos de potência, fontes de alimentação de computadores e reatores eletrônicos de alta frequência acarretaram no aumento dessas distorções. (HOSSAM, 2006).

O sistema elétrico brasileiro tem sofrido grandes mudanças nos últimos anos. Uma dessas mudanças seria a qualidade de energia elétrica (QEE) entregue aos consumidores. Há alguns anos atrás, quando se falava em qualidade de energia, o padrão seria o número de interrupções/desligamentos ocorridos. Ou seja, quanto menor fossem as

Thomas Edison – Nasceu em Milan, no dia 11 de fevereiro de 1847. Foi empresário e um grande inventor, aproximadamente 1.033 patentes, sua maior invenção foi a lâmpada elétrica. Faleceu em West Orange nos Estados Unidos em, 18 de outubro de 1931.

George Westinghouse – Nasceu em Nova York, no dia 06 de outubro de 1846. Foi um inventor prolífico, que influenciou o curso da história promovendo o uso da eletricidade para energia e transporte. Faleceu em 12 de março de 1914.

Lee de Forest – Nasceu em Council Bluffs, no dia 26 de agosto de 1873. Foi físico e inventor do amplificador de tubo de vácuo tríodo. Faleceu em 30 de junho de 1961.

interrupções/desligamentos de energia elétrica feita pela concessionária, melhor era considerada a QEE. No entanto, nos dias atuais é considerado uma energia elétrica de boa qualidade, aquela que é entregue aos consumidores de forma interrupta, com frequência estável, e com formas de onda senoidais compatíveis com as instalações elétricas e sistemas elétricos de distribuição.

Tem-se observado no Brasil e no mundo com o avanço tecnológico e o crescimento da utilização da eletrônica de potência um aumento significativo nos distúrbios gerados na rede de energia. Como, por exemplo, aparelhos eletroeletrônicos (fornos elétricos, carregadores de baterias, aparelhos de televisão, luzes compactas, chuveiros eletrônicos e etc). Esses equipamentos são, em sua maior parte, compostos por dispositivos como conversores chaveados, retificadores, inversores e etc (HOSSAM, 2006). Esses dispositivos após energizados provocam distúrbios nas formas de onda da tensão e principalmente da corrente que consomem e, por essa razão, são chamados de cargas não lineares.

Essas distorções harmônicas causadas pelas cargas não lineares, podem comprometer as medições de faturamento feitas por medidores eletromecânicos e também por medidores eletrônicos (LISITA et. al., 2011). Onde de acordo com a (ETC 4.04 - Especificação técnica para medidores de energia. COPEL, 2008) e (ETC 4.11 - Especificação técnica pra medidor eletrônico de energia. COPEL, 2018) que medidores eletromecânicos devem possuir uma classe de exatidão de 2% ou melhor e os eletrônicos, 1% ou melhor. Vale ressaltar que o medidor mais utilizado até hoje é o eletromecânico, que funciona pelo princípio da indução eletromagnética.

Muitos trabalhos já foram realizados buscando estudar sistemas com conteúdo harmônicos e desequilibrados, enfatizando nessas condições o desempenho dos medidores de faturamento de energia. A respeito do consumo residencial (que no Brasil acerca-se de 50% do total produzido) poucas publicações têm sido efetuadas. No entanto, com o crescimento expressivo do consumo residencial de energia, através de cargas não lineares, tem-se transformado em estímulos para estudos de melhorias em cargas residenciais (BERNARDES, GUIMARÃES, ARANGO, 2012).

Dado o exposto, este trabalho tem como foco principal avaliar os cálculos de potências elétricas através dos métodos clássico, Budeanu e IEE 1459 2010 quando submetidos a sinais de tensão e corrente não senoidais através de uma montagem experimental em laboratório.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Demonstrar os resultados obtidos através dos métodos clássico, Budeanu e IEEE 1459 2010 e analisar quantitativamente se podem aderir erros a uma medição de faturamento na presença de ondas não senoidais.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica relacionadas a estimação de potências elétricas para ondas senoidais e não senoidais utilizando os métodos clássico, de Budeanu e IEEE 1459 2010.
- Projetar uma placa de condicionamento analógico de sinais para aquisição via DAQ;
- Realizar medições em laboratório e simulações computacionais para realização dos cálculos de potência e demais grandezas;
- Analisar e discutir os resultados obtidos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos tem-se notado o grande avanço da tecnologia aplicada aos equipamentos eletroeletrônicos. Em diversos setores, tais como indústria, comércio e residência, novos tipos de tecnologias visam uma maior eficiência energética, diminuição do tamanho relativo do equipamento e menor custo. A introdução de diversos processadores eletrônicos de energia elétrica, como fontes chaveadas, controladores de velocidade de máquinas elétricas, equipamentos de solda e demais conversores estáticos de potência, apresentando-se como cargas não lineares, em conjunto com uma grande quantidade de dispositivos presentes no setor comercial e residencial (computadores, chuveiros eletrônicos, fornos elétricos, reatores eletrônicos de reduzido fator de potência para iluminação, dentre outros), tem causado um aumento significativo no nível de distorção harmônica de correntes e tensões nas redes de distribuição de energia elétrica (RODRIGUES, 2009).

Portanto, a principal motivação está em elaborar um estudo referente aos métodos de estimação de potência elétrica clássico, Budeanu e IEEE 1459 2010. Ou seja, o intuito é elaborar uma montagem experimental em laboratório e adquirir sinais de corrente e tensão não puramente senoidais, e assim, verificar se com o aumento destas distorções presentes no sistema elétrico os métodos de estimação de potência citados acima possuem confiabilidade em seus resultados.

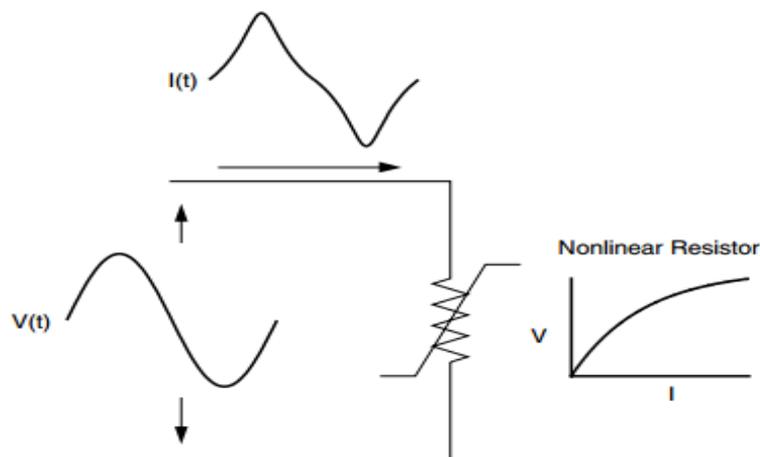
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Harmônicos no sistema elétrico

Quando os conversores eletrônicos de energia vieram a tona no final dos anos 70, muitos engenheiros se preocuparam com a capacidade do sistema de potência para acomodar tais distorções harmônicas que seriam fornecidas a rede. Para alguns, a distorção harmônica ainda é o problema de qualidade de energia mais significativo.

A distorção harmônica é causada por dispositivos não lineares no sistema elétrico. Um dispositivo não linear é aquele em que a forma de onda da corrente não é proporcional com a forma de onda tensão aplicada. A Figura 1 ilustra esse conceito no caso de uma tensão senoidal aplicada a uma resistência não linear simples na qual a tensão e corrente variam de acordo com a curva mostrada. Enquanto a tensão aplicada é perfeitamente senoidal, a corrente resultante é distorcida (DUGAN et al., 2012).

**Figura 1: Distorção causada por uma resistência não linear simples.**



**Fonte: Dugan, 2012.**

Tecnicamente, um harmônico é um componente de uma onda periódica cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental (por exemplo, nos sistemas típicos brasileiros de distribuição de energia elétrica, a frequência fundamental é de 60Hz) (RODRIGUES, 2009).

Portanto, dizemos que uma forma de onda de um sinal periódico contém harmônicas quando a forma de onda desse sinal não é senoidal, em outras palavras, um sinal

contém harmônicas quando ele é deformado em relação a um sinal senoidal. Tais componentes podem ser quantificados matematicamente através da série de Fourier.

O teorema de Fourier indica que toda função periódica não senoidal pode ser representada sob a forma de uma soma de expressões. Que pode ser expresso da seguinte forma:

$$V(t) = V_0 + V_{max.1}sen(1\omega t + \varphi_1) + V_{max.2}sen(2\omega t + \varphi_2) + \dots + V_{max.h}sen(3\omega t + \varphi_h) \quad (1)$$

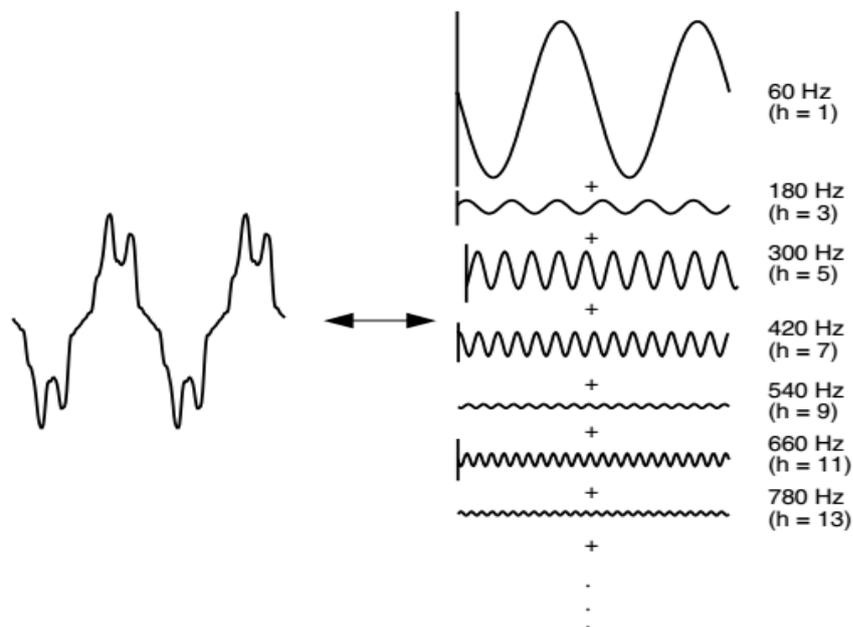
e similarmente, para corrente

$$I(t) = I_0 + I_{max.1}sen(1\omega t + \varphi_1) + I_{max.2}sen(2\omega t + \varphi_2) + \dots + I_{max.h}sen(3\omega t + \varphi_h) \quad (2)$$

sendo, h (1,2,3,...,n) a ordem do harmônico.

Na Figura 2, temos um exemplo de correntes comportando harmônicas e uma decomposição da corrente global em suas componentes harmônicas de 1º ordem (fundamental), 3, 5, 7, 9, 11 e 13. A situação ideal é que só exista a harmônica de 1º ordem.

**Figura 2: Representação em série de Fourier de uma forma de onda distorcida.**



**Fonte: Dugan, 2012.**

No passado, as cargas chamadas de lineares eram praticamente as únicas existentes nas instalações elétricas. No entanto, na década de 80, os equipamentos eletrodomésticos e algumas outras cargas de baixa tensão sofreram algumas modificações de projeto e tornaram parte do conjunto de cargas produtoras de harmônicos (HENRIQUES, 2002).

As distorções resultantes dos harmônicos, dependendo de suas características e da intensidade do parâmetro já definidos, podem provocar efeitos indesejáveis em diversos equipamentos e componentes do sistema elétrico (HENRIQUES,2002). Como por exemplo:

- Desempenho inadequado ou deficiente dos medidores de energia elétrica;
- Aquecimento e perdas em máquinas girantes, com alteração de sua eficiência;
- Danos em isolamentos de transformadores;
- Falhas em disjuntores e seccionadoras; etc.

Cabe ressaltar que na maioria dos efeitos dos harmônicos não são imediatos, manifestando principalmente na vida útil dos equipamentos, muitas vezes, pouco percebida. Entretanto, isso não reduz o seu caráter prejudicial.

Torna-se evidente que essa nova era de cargas não lineares trouxe diversas vantagens e facilidades para os usuários, mas também trouxe alguns problemas que podem afetar não apenas a aferição de faturamento de energia elétrica como também a vida útil e o funcionamento de alguns equipamentos.

Além disto, a rediscussão das matrizes energéticas tem se tornado um assunto fundamental nas sociedades modernas. Sustentabilidade e desenvolvimento de energias renováveis são uns dos principais assuntos em discussão na comunidade científica. Embora sabendo que uma teoria de potência deveria ser geral o suficiente para atender as novas tendências, fica cada vez mais evidente que as divergências em torno das várias metodologias estão diretamente relacionadas com o objetivo de cada autor quando da apresentação da proposta (PAREDES, 2011).

## 2.2 DEFINIÇÕES DE POTÊNCIAS ELÉTRICAS

Diversos conceitos de potências têm sido propostos para analisar sistemas e circuitos elétricos em situações não senoidais. Diante disso, esta seção terá como objetivo apresentar uma explanação das principais teorias de potências, considerando inicialmente tensões e correntes senoidais. Em seguida, será demonstrado os métodos mais utilizados hoje em dia para estudos de sinais assimétricos e distorcidos que são o de Budeanu e IEEE 1459 2010.

Ainda que seja apresentado com maiores detalhes somente os autores citados acima, a Tabela 1 mostra uma lista de algumas das demais contribuições no assunto.

**Tabela 1: Teorias de potências propostas ao longo dos últimos anos.**

	<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Ano</b>
1	C. Budeanu	Budeanu's power theory	1927
2	S. Fryze	Orthogonal currents	1931
3	W. Shepherd & P. Zakikhani	Definition of reactive power	1972
4	D. Sharon	Reactive power definitions	1973
5	H. Depenbrock	The first harmonic of voltage and current	1979
6	N. L. Kuster's & M. J. Moore	Definition of reactive power	1980
7	C. H. Page	Reactive power definition	1980
8	G. nomowiesjki	Generalised theory of electrical power	1981
9	Akagi & Nabae	Original p-q theory	1983
10	L. S. Czarnecki	CPC theory	1988
11	M. D. Slonim & J. D. Van Wyck	Definition of active, reactive and apparent powers with clear physical interpretation	1988
12	J. H. Enslyn & J. D. Van Wyck	Load related time domains generalised definition	1988
13	I. Takahashi	Instantaneous Vectors	1988
14	M. J. Robinson & P. H. G. Allen	Power factor and quadergy definitions	1989
15	T. Furuhasi	Theory of instantaneous reactive power	1990
16	Ferrero e Superti-Furga	The par power theory	1991
17	P. S. Fillipski	Elucidation of apparent power and power factor	1991
18	A Ferrero & G. Superti-Furga	Power using Parks transform	1991
19	Willems	Generalized Akagi's and Ferrero's p-q power theories	1992
20	Willems	Instantaneous orthogonal currents	1994
21	E. H. Watanabe	Generalised theory of instantaneous power transformation	1993
22	Rosseto e Tenti	Instantaneous orthogonal currents	1994
23	Akagi & Nabae	Modified p-q theory	1994
24	IEEE working group	Practical power definitions	1995
25	F. Z. Peng & J. S. Lai	Generalises instantaneous reactive power theory	1996
26	D. Sharon	Power factor definitions	1996
27	A. Nabae & K. Hyosung	Powers based on instantaneous pace vector	1996
	<b>Autores</b>	<b>Títulos</b>	<b>Ano</b>
28	L. M. Dalgerti	Concepts based on instantaneous complex power approach	1996
29	H. Akagi & T. Tanaka	Instantaneous power theory based on mapping matrices	1996
30	Nils & Marja	Vector space decomposition of reactive power	1997
31	A. E. Emanuel	Definitions of apparent power	1998
32	K. Hyusong & H Akagi	Instantaneous p-q-r power theory	1999
33	J. Cohen, F. Keon & K. M. Hernandez	Time domains representation of powers	1999
34	F. Ghassemi	Definition of apparent power based on modified voltage	2000
35	F. Z. Peng & L. M. Tolbert	Definitions of nonactive power from compensation standpoint	2000
36	S. K. Chen & G. W. Chang	Instantaneous power theory based on active filter	2000

37	H. Lev-Ari & A. M. Stankovic	Reactive power definition via local Fourier transform	2002
38	M. Depenbroc	FBD method	2003
39	A. Menti T. Zacharias & J. Miliadis-Argitis	Introduced the framework of geometric álgebra to non-sinusoidal power theory	2007
40	M. Castilla et all	Extended the use of geometric álgebra in nin-sinusoidal power theory	2009
41	IEEE Std 1459	Definitions for the measurement of electric power quantities	2010

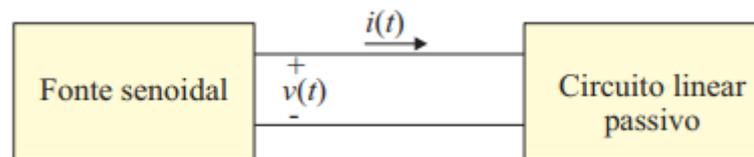
Fonte: (Paredes, 2011).

### 2.2.1 MÉTODO CLÁSSICO PARA MEDIÇÃO DE POTÊNCIA

As definições de potências elétricas monofásicas em condições senoidais estão bem consolidadas, não tendo divergências entre os resultados obtidos nas análises realizadas no domínio do tempo e da frequência.

A Figura 3, ilustra a potência instantânea transferida entre uma fonte e uma carga bipolar que é definida pelos produtos dos sinais de tensão e corrente.

**Figura 3: Sistema de alimentação monofásico.**



Fonte: Autoria Própria.

Considerando que o sistema é senoidal, com a tensão e corrente dadas por:

$$V(t) = V_p \text{sen}(\omega t) = \sqrt{2} V_{rms} \text{sen}(\omega t) \quad (3)$$

$$I(t) = I_p \text{sen}(\omega t - \varphi) = \sqrt{2} I_{rms} \text{sen}(\omega t - \varphi) \quad (4)$$

Onde  $V_p$  e  $I_p$  representam os valores de pico ou máximos das ondas senoidais; e  $V_{rms}$  e  $I_{rms}$  representam os valores eficazes.

O valor eficaz corresponde ao valor quadrático médio, definido para um sinal senoidal com período T, sendo:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} V^2(t) dt} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

Portanto, a potência instantânea será dada por:

$$P(t) = V_p \text{sen}(\omega t) I_p \text{sen}(\omega t - \varphi) \quad (6)$$

Desenvolvendo o produto, resulta:

$$P(t) = \frac{1}{2} [V_p I_p \cos \varphi - V_p I_p \cos(2\omega t - \varphi)] \quad (7)$$

Ou em termos dos valores eficazes:

$$P(t) = V_{rms} I_{rms} \cos \varphi - V_{rms} I_{rms} \cos(2\omega t - \varphi) \quad (8)$$

Ou ainda;

$$P(t) = V_{rms} I_{rms} \cos \varphi (1 - \cos 2\omega t) - V_{rms} I_{rms} \text{sen}(\varphi) \text{sen}(2\omega t) \quad (9)$$

Nota-se de (7) ou (8) que a potência instantânea contém uma parte constante e uma parte oscilatória com o dobro da frequência ( $2\omega$ ) das ondas de tensão e corrente (DECKMANN, POMILIO).

A parte constante corresponde ao valor médio por período T:

$$\bar{P} = V_{rms} I_{rms} \cos(\varphi) = P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} V I dt \quad (10)$$

E a parte oscilatória vale:

$$\tilde{P} = -V_{rms} I_{rms} \cos(2\omega t - \varphi) \quad (11)$$

Essa parte oscilatória pode ainda ser desenvolvida na forma:

$$\tilde{P} = -V_{rms} I_{rms} \cos(\varphi) \cos(2\omega t) - V_{rms} I_{rms} \text{sen}(\varphi) \text{sen}(2\omega t) \quad (12)$$

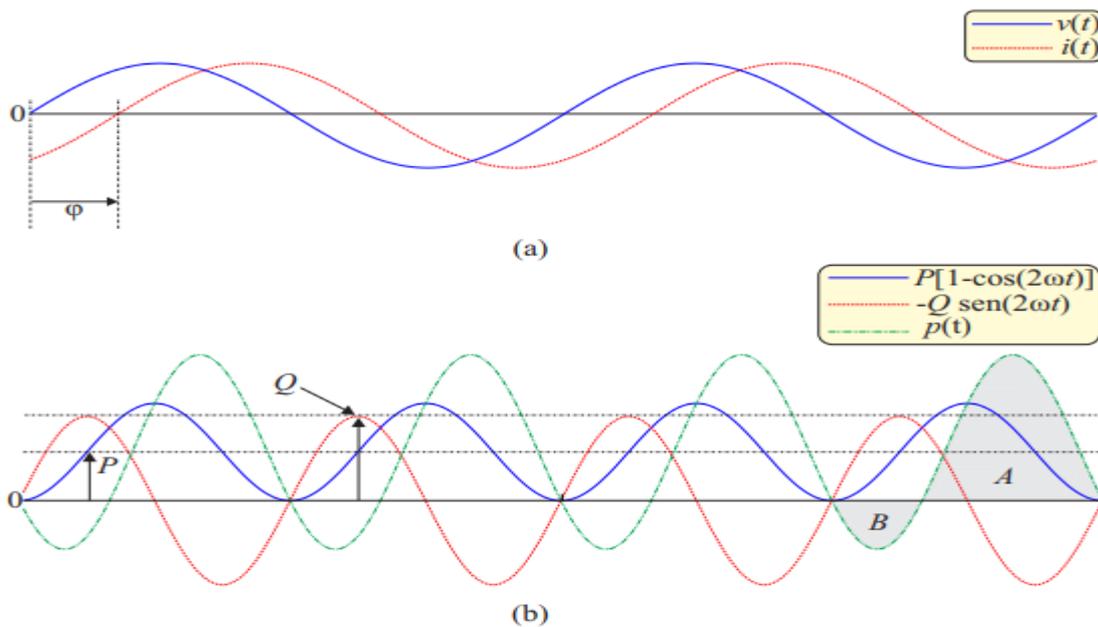
Nota-se, que a parte oscilatória é composta de duas parcelas que oscilam em quadratura, uma parcela oscila com  $\cos(2\omega t)$  e vale  $P = V_{rms} I_{rms} \cos(\varphi)$  que é definida como potência ativa e sua unidade para sistema de medição no sistema internacional (SI) é o Watt (W); e a outra parcela oscila com  $\text{sen}(2\omega t)$  e vale  $V_{rms} I_{rms} \text{sen}(\varphi)$ . Essa segunda parcela que

oscila em quadratura com a potência ativa  $P$  é chamada de potência reativa ( $Q$ ) e sua unidade de medição no SI é volt-ampère reativo (Var):

$$Q = V_{rms} I_{rms} \text{sen}(\varphi) \quad (13)$$

Na Figura 4 são ilustradas as componentes de potência ativa, reativa e instantânea referente a uma corrente senoidal que está atrasada da tensão em  $\varphi = \frac{\pi}{3} \text{rad}$ . De acordo com a equação (9) e a Figura 4, a potência instantânea varia com o tempo e, portanto, não é unidirecional e constante, isto porque ora a potência está fluindo em um sentido, fornecimento de energia área (A) e ora está devolvendo energia área (B).

**Figura 4: Conceitos convencionais de potência: (a) formas de onda de tensão e corrente; (b) parcelas de potência ativa, reativa e instantânea.**



Fonte: Alves,2015.

A soma dos quadrados das duas componentes (ativa e reativa) resulta em outra variável de energia que é comumente utilizada para definir potência em equipamentos elétricos:

$$\begin{aligned} S &= P^2 + Q^2 = V^2 I^2 \cos^2(\varphi) + V^2 I^2 \text{sen}^2(\varphi) \\ &= V^2 I^2 (\cos^2(\varphi) + \text{sen}^2(\varphi)) \\ &= (VI)^2 \end{aligned} \quad (14)$$

No qual o produto  $VI$  é conhecido como potência aparente ( $S$ ) e sua unidade no SI volt-ampère (VA).

Do exposto, pode-se determinar também o fator de potência (FP) que está demonstrado na equação (15), que é um indicador da eficiência do uso da energia, ou seja, um FP elevado indica uma alta eficiência energética, do contrário indica uma baixa eficiência energética.

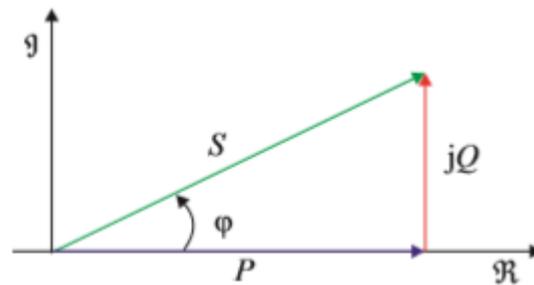
$$FP = \frac{P}{S} \quad (15)$$

O qual também pode ser definido como sendo a relação entre a potência ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das potências ativa e reativa, como mostrado na equação (16).

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (16)$$

Os conceitos de FP e de potência aparente podem ainda ser interpretados graficamente utilizando o triângulo de potências, conforme ilustrado na Figura 5.

**Figura 5: Representação das potências utilizando o triângulo de potências.**



Fonte: Alves, 2015.

### 2.2.2 PROPOSIÇÃO DE BUDEANU

Em 1927, Constantin Budeanu compreendeu que a potência aparente tinha mais de duas componentes em condições não senoidais e postulou que a potência aparente é

composta por duas componentes ortogonais, chamadas de potência ativa e não ativa (LIMA, 2014).

Este método utiliza uma abordagem baseada no domínio da frequência, ou seja, tensões e correntes senoidais são decompostas por meio de série de Fourier. Este método ainda é bastante difundido e amplamente utilizado por diversos segmentos relacionados a área de sistemas elétricos (ALVES, 2015).

Segundo Budeanu, o valor rms de  $V$  e  $I$  podem ser cálculos a partir:

$$V = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} v_h^2} ; I = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \quad (17)$$

Onde  $V_h$  e  $I_h$  correspondem aos valores rms da componente harmônica da tensão e corrente, respectivamente.

A partir do produto entre os valores eficazes da tensão e corrente harmônicas, Budeanu definiu os conceitos de potência aparente, ativa e reativa como estão representadas a seguir:

- Potência aparente

$$S = VI \quad (18)$$

- Potência ativa

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} P_h = \sum_{h=1}^{\infty} v_h i_h \cos \varphi_h \quad (19)$$

- Potência reativa

$$Q = \sum_{h=1}^{\infty} Q_h = \sum_{h=1}^{\infty} v_h i_h \sin \varphi_h \quad (20)$$

Sendo o ângulo  $\varphi_h$  a defasagem entre tensões e correntes das componentes harmônicas  $h$ .

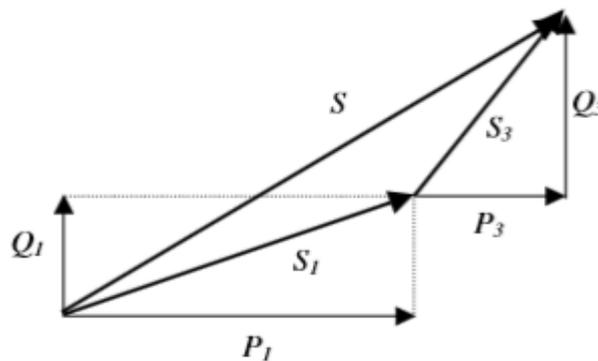
Budeanu também introduziu uma outra quantidade de potência, conhecida como potência de distorção ( $D_B$ ), que tem como objetivo caracterizar as perdas de qualidade e condicionamento de energia elétrica sobre condições não senoidais.

$$D_B = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (21)$$

A potência distorcida é constituída por produtos cruzados de tensões e correntes harmônicas, de diferentes ordens e só será zero se as componentes harmônicas forem nulas.  $D_B$

é uma formulação matemática que fecha o chamado “tetraedro de potências”. Na Figura 6 é demonstrado o tetraedro de potências para sinais com 3º harmônico.

**Figura 6: Potências aparente, ativa e reativa para sinais com 3º harmônico.**



**Fonte: Deckman e Pomilio, 2009.**

Onde o fator de potência é demonstrado na equação seguinte:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (22)$$

Uma das grandes dificuldades na implementação do método de Budeanu é baseado na necessidade de decompor as tensões e correntes medidas em componentes ortogonais (seno e cosseno). O que pode ser feito com facilidade para sinais puramente senoidais, mas no caso da presença de distorções, se torna uma tarefa complexa, principalmente porque deveria ser feita para cada frequência, independentemente.

Além disto, em determinados casos, a utilização do método de Budeanu resulta em inconsistências, como no caso de um circuito linear puramente reativo, alimentado por uma tensão distorcida. Neste caso as correntes também serão distorcidas, mas  $D_B$  indicara um valor igual a zero (DECKMANN E POMILIO, 2009).

Depois de 60 anos a definição de Budeanu foi veementemente criticada por Czarnecki em 1987, que demonstrou detalhadamente as deficiências de sua teoria. A principal propriedade, por exemplo, da potência reativa no caso senoidal é que a sua redução diminui a perda da linha para a mesma transferência de energia. O fato de que essa propriedade não é preservada pela potência reativa de Budeanu em condições não senoidais, fez com que

Czarnecki rejeitasse fortemente o conceito da potência reativa de Budeanu (CZARNECKI, 1987). Esta lacuna da potência reativa de Budeanu também foi apontada por Akagi (AKAGI et al, 2007) e pode ser a razão pela qual o conceito foi excluído da norma IEEE 1459 em sua revisão de 2010 (PAREDES, 2011).

No entanto, o método proposto por Budeanu, mesmo apresentando algumas inconsistências, ainda é o mais utilizado na área de sistemas de potência. Tal utilização é justificada devido terem sido realizadas simplificações no método (ALVES, 2015).

### 2.2.3 PROPOSIÇÃO DA NORMA IEEE 1459-2010

O grupo de trabalho de situações não senoidais do IEEE, presidida por Alexander Eigeles Emanuel, propõe na norma IEEE 1459 2010 novas definições de potências, sendo está o trabalho mais recente publicado na área. Esta publicação reúne as contribuições de diversos pesquisadores que sugerem definições e equacionamentos a serem utilizados na medição e potência sobre condições senoidais e não senoidais.

Em relação as definições de potências sob condições não senoidais, a norma traz algumas definições diferentes das propostas que foram demonstradas anteriormente no trabalho, como por exemplo, a separação das parcelas fundamentais de potência de sequencia positiva das demais componentes de potência, tais como: potências não ativas e potências não fundamentais.

Segundo a IEEE Std. 1459-2010, a tensão e corrente instantâneas não senoidal de regime permanente podem ser divididas em duas componentes distintas:

$$v(t) = v_1 + v_H \quad e \quad i(t) = i_1 + i_H \quad (23)$$

Onde

$$v_1 = \sqrt{2V_1} \text{sen}(\omega t - \alpha_1) \quad (24)$$

$$i_1 = \sqrt{2I_1} \text{sen}(\omega t - \beta_1) \quad (25)$$

$$v_H = V_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 1} V_h \text{sen}(h\omega t - \alpha_h) \quad (26)$$

$$i_H = I_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 1} I_h \text{sen}(h\omega t - \beta_h) \quad (27)$$

Em que  $v_1$  e  $i_1$  representam as componentes referentes a frequência fundamental do sistema, enquanto  $v_H$  e  $i_H$  representam as componentes harmônicas;  $\alpha_1$  e  $\beta_1$  representam o

ângulo de fase da tensão e corrente da componente fundamental, enquanto  $\alpha_h$  e  $\beta_h$  representam os ângulos de fase da tensão e corrente das componentes harmônicas e  $V_0$  e  $I_0$  correspondem as componentes contínua do sinal de tensão e corrente.

Por sua vez, a norma representa os valores rms da tensão e corrente descritas abaixo:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{KT} \int_{\tau}^{\tau+KT} v^2 dt} = V_1^2 + V_H^2 \quad (28)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{KT} \int_{\tau}^{\tau+KT} i^2 dt} = I_1^2 + I_H^2 \quad (29)$$

Onde;

$$V_H^2 = V_0^2 + \sum_{h \neq 1} V_h^2 = V^2 - V_1^2 \quad (30)$$

$$I_H^2 = I_0^2 + \sum_{h \neq 1} I_h^2 = I^2 - I_1^2 \quad (31)$$

As componentes de tensão e corrente contínuas  $V_0$  e  $I_0$  devem ser incluídas em  $V_{rms}$  e  $I_{rms}$ . Componentes de corrente contínua (CC) significativos, raramente estão presentes em sistemas de energia de corrente alternada (AC); no entanto, traços de DC são comuns.

Conhecido os valores de tensão ou correntes harmônicas presente no sistema, são utilizados procedimentos matemáticos para expressar a influência do conteúdo harmônico em uma forma de onda.

A seguir serão demonstradas as equações que serão utilizadas para fins dos cálculos e análises dos sinais de acordo com as definições padrões do IEEE 1459-2010.

A potência ativa é definida como o valor médio da potência instantânea e é decomposta em duas partes fundamental ( $P_1$ ) e harmônica ou residual ( $P_H$ ).

- Potência ativa (P), potência ativa fundamental ( $P_1$ ) e potência ativa harmônica ( $P_H$ ) IEEE 1459, 2010:

$$P = P_1 + P_H \quad (32)$$

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (33)$$

$$P_H = P - P_1 \quad (34)$$

A parte mais controversa da norma é sobre as definições e interpretações físicas de potência reativa e potência de distorção. Só a definição de potência reativa fundamental é dada. Por conseguinte, as potências de distorções individuais de tensão, corrente e harmônica são definidos usando os valores de distorções harmônicas totais (THD), que é a composição das distorções harmônicas individuais que expressa o grau de desvio da onda em relação ao padrão ideal, normalmente referenciada ao valor da componente fundamental. No entanto, a norma não traz qualquer interpretação física e tampouco uma definição para a potência total de distorção. Com tudo, as demais expressões são apresentadas a seguir (LIMA, 2014).

- Distorção harmônica total ( $THD_V$ ) IEEE 1459, 2010:

$$THD_V = \frac{V_{rms,H}}{V_{rms,1}} \quad (35)$$

$V_{rms,1}$  ➔ Tensão RMS fundamental;

$V_{rms,H}$  ➔ Tensão RMS residual.

- Distorção harmônica total de corrente ( $THD_I$ ) IEEE 1459, 2010:

$$THD_I = \frac{I_{rms,H}}{I_{rms,1}} \quad (36)$$

$I_{rms,1}$  ➔ Corrente RMS fundamental;

$I_{rms,H}$  ➔ Corrente RMS residual.

- Potência reativa fundamental ( $Q_1$ ) IEEE 1459, 2010:

$$Q_1 = V_1 I_1 \sin \theta_1 \quad (37)$$

- Potência aparente total (S) IEEE 1459, 2010:

$$S = VI \quad (38)$$

- Potência aparente fundamental ( $S_1^2$ ) IEEE 1459, 2010:

$$S_1^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad (39)$$

- Potência aparente não fundamental ( $S_N^2$ ) IEEE 1459, 2010:

$$S_N^2 = D_I^2 + D_V^2 + S_H^2 \quad (40)$$

- Potência de distorção de corrente ( $D_I$ ) IEEE 1459, 2010:

$$D_I = V_1 I_H \quad (41)$$

- Potência de distorção de tensão ( $D_V$ ) IEEE 1459, 2010:

$$D_V = V_H I_1 \quad (42)$$

- Potência harmônica aparente ( $S_H$ ) IEEE 1459, 2010:

$$S_H = \sqrt{P_H^2 + D_H^2} \quad (43)$$

- Potência de distorção harmônica ( $D_H$ ) IEEE 1459, 2010:

$$D_H = \sqrt{S_H^2 - P_H^2} \quad (44)$$

- Potência não ativa ( $N$ ) IEEE 1459, 2010:

Esta potência agrega componentes não ativos fundamentais e não fundamentais. No passado, foi chamado de “potência fictícia”. A potência não ativa não dever ser confundida com uma potência reativa. Somente quando as formas de onda são perfeitamente senoidais,  $N = Q_1 = Q$ .

$$N = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (45)$$

- Fator de potência fundamental ( $PF_1$ ) IEEE 1459, 2010:

Essa relação ajuda a avaliar separadamente as condições fundamentais do fluxo de energia. Pode ser chamado de fator de potência fundamental. O fator de potência fundamental é frequentemente referido pela frequência fundamental. Por exemplo, para um sistema de energia de 60 Hertz,  $PF_1$  pode ser referido como fator de potencia de 60 Hertz.  $PF_1$  também é frequentemente referido como o fator de potência de deslocamento.

$$PF_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad (46)$$

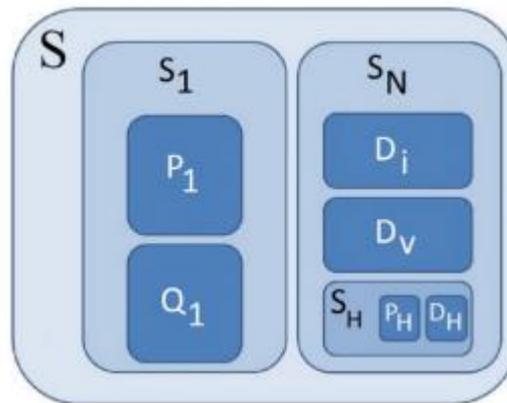
- Fator de potência verdadeiro ( $PF$ ) IEEE 1459, 2010:

É à medida que indica quão eficiente uma carga retira potência ativa da fonte de alimentação. Definida como a relação entre potência ativa e aparente.

$$PF = \frac{P}{S} \quad (47)$$

A Figura 7 ilustra a decomposição proposta pela norma IEEE.

**Figura 7: Decomposição da potência aparente proposta pela IEEE.**



Fonte: Lima, 2014.

Na Tabela 2, o resumo e agrupamentos das unidades em sistemas monofásicos com formas de onda não senoidais.

**Tabela 2: Resumo de agrupamentos das unidades em sistemas monofásicos não senoidais.**

Quantidade ou indicador	Combinado	Potências fundamentais	Potências não fundamentais
<b>Aparente</b>	$S$ (VA)	$S_1$ (VA)	$S_N S_H$ (VA)
<b>Ativa</b>	$P$ (W)	$P_1$ (W)	$P_H$ (W)
<b>Não ativo</b>	$N$ (Var)	$Q_1$ (Var)	$D_1 D_V D_H$ (Var)
<b>Fator de potência</b>	$PF = P/S$	$PF_1 = \frac{P_1}{S_1}$	
<b>Resíduos harmônicos</b>			$S_N/S_1$

Fonte: IEEE 1459 2010.

### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Como exposto no decorrer deste trabalho, o objetivo é, avaliar os métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459 que foram demonstrados anteriormente.

Para análise dos conceitos dos métodos de potência elétrica, foi elaborado uma montagem experimental em laboratório para aquisição do sinal de tensão e corrente. Para isso, foi utilizado um dispositivo de aquisição DAQ NI USB-6211 da National Instruments para a conversão A/D. Também, utilizou-se uma placa de condicionamento de sinais que é composta por um divisor resistivo para medição de tensão e resistor shunt para corrente, que servem para adequar os limites de entrada de tensão e corrente da DAQ. Esta mesma placa de condicionamento possui filtros passa baixa RC de segunda ordem para se obter uma melhor precisão na banda de interesse deste trabalho. A DAQ NI USB-6211 e a placa de condicionamento serão explicadas mais detalhadamente nos tópicos seguintes.

Também foi utilizado um osciloscópio da tektronix como uma aquisição auxiliar, que permite através de um cabo USB 2.0 e um software do próprio fabricante aquisitar os sinais de tensão e corrente.

Após a aquisição dos sinais desejados os cálculos dos métodos propostos foram calculados através da plataforma MATLAB versão 2012.

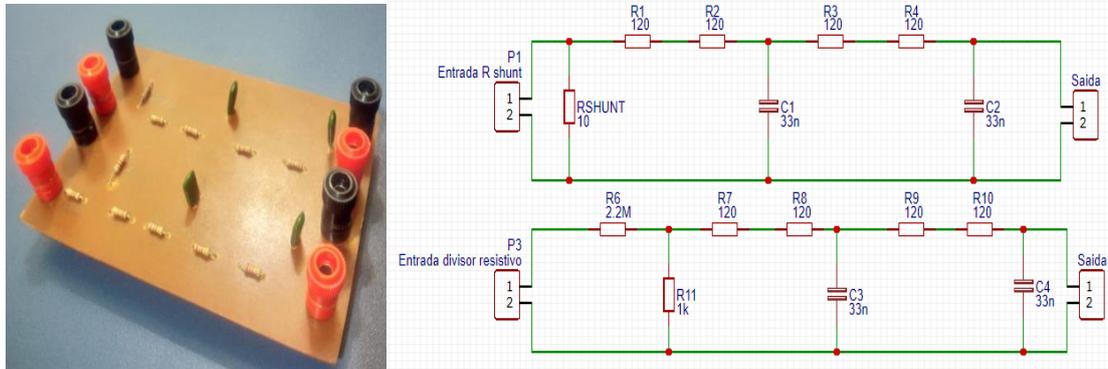
#### 3.1 PLACA DE CONDICIONAMENTO DE SINAL

Na Figura 8 é apresentada uma foto da placa de condicionamento de sinais desenvolvida e seu esquemático elétrico. Essa placa contém um divisor resistivo, um resistor shunt e seus respectivos filtros RC (passa baixa) de segunda ordem. Os bornes apresentados do lado direito da foto (Figura 8) correspondem às interfaces de saída dos sinais condicionados onde será conectada a entrada da DAQ para a conversão dos sinais A/D. Os dois primeiros bornes de baixo pra cima permite a leitura da tensão através do divisor resistivo e os outros dois últimos bornes permite a leitura da corrente através de um resistor shunt.

Foi utilizado também um transformador de corrente (TC) com relação 1:2500 para a aquisição do sinal de corrente onde a corrente induzida é medida através do resistor shunt da placa de condicionamento. E um transformador de potência (TP) com relação 127/7,2 V onde sua saída está ligada no divisor resistivo da placa de condicionamento de sinal. Este TP

obteve uma defasagem entre primário e secundário de  $242\mu\text{s}$  que foi acrescido nos cálculos para melhor coerência nos resultados.

**Figura 8: Placa de condicionamento e esquemático elétrico.**

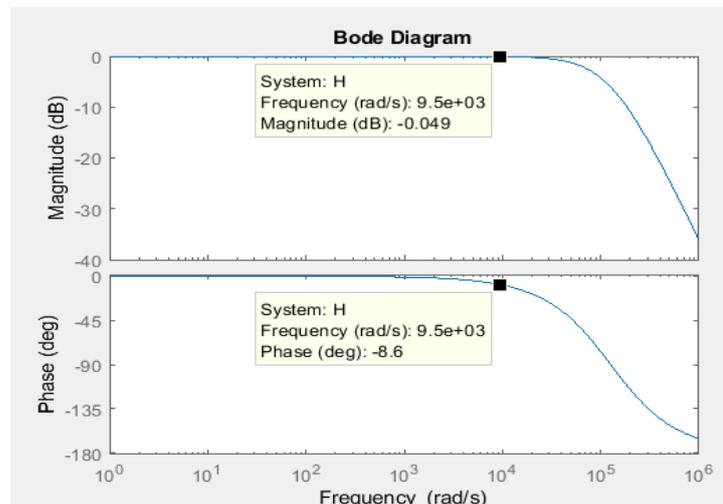


**Fonte: Autoria própria.**

O filtro RC (passa baixa) de segunda ordem tem como intuito atenuar frequências maiores que a frequência de corte que é estabelecida através do circuito RC, ou seja, tem como finalidade impedir a permanência de ondas de altas frequências em determinado sinal, permitindo apenas a passagem daquelas com frequência inferior a determinada pela frequência de corte, onde que por sua vez foi considerado uma frequência de atenuação para a 40ª harmônica (2400 Hz).

O filtro RC foi composto por dois estágios idênticos, utilizando resistores de  $120\Omega$  e capacitor de  $33\text{nF}$ , cada. Na Figura 9 é apresentado o diagrama de Bode deste filtro. A atenuação máxima aproximada da banda de interesse é de 0,5% (-0,049 dB) para a 25ª harmônica (1500 Hz).

**Figura 9: Diagrama de Bode do filtro utilizado na placa de condicionamento.**



**Fonte: Autoria própria.**

### 3.2 AQUISIÇÃO DAS GRANDEZAS POR MEIO DA DAQ-6211

Para conseguirmos analisar as curvas de tensão e corrente, foi utilizado um modulo de aquisição de dados da National Instruments DAQ NI USB-6211.

De acordo com o datasheet fornecido pela National Instruments, a NI USB-6211 é um modulo de aquisição de dados (DAQ) multifuncional com alimentação pelo barramento e interface USB, otimizado para oferecer exatidão superior em taxas de amostragem mais altas. Esse modulo oferece 16 entradas analógicas, taxa de amostragem em um canal de 250 Ks/s, 2 saídas analógicas, 4 linhas de entrada digital, 4 linhas de saída digital, 4 faixas de entrada programável ( $\pm 0,2$  a  $\pm 10$  V) para cada canal, trigger digital e 2 contadores/temporizadores. Abaixo é apresentado a Figura 10 que demonstra o equipamento.



**Figura 10: Imagem ilustrativa da NI USB-6211.**

**Fonte: National Instruments.**

É fornecido também pelo manual do fabricante, que, a NI USB-6211 foi projetado especificamente para aplicações moveis ou com restrições de espaço. A instalação plug-and-play minimiza o tempo de instalação e configuração, enquanto que as conectividades por terminais de parafusos mantem os custos baixos e simplifica as conexões dos sinais. Esse equipamento não requer alimentação externa. Nesse módulo, temos também a tecnologia NI signal streaming, que oferece uma transmissão bidirecional de dados pela USB, em alta velocidade.

Portanto, este equipamento será essencialmente útil, pois, com ele poderemos fazer a transferência dos sinais analógicos para digitais e armazenar juntamente com a plataforma MATLAB, para que assim consiga fazer as análises e os cálculos desejados.

### 3.3 OSCILOSCÓPIO DIGITAL DE ARMAZENAMENTO TEKTRONIX

Além da DAQ que foi demonstrado anteriormente, foi utilizado o osciloscópio da Tektronix como forma auxiliar de aquisição dos sinais de corrente e tensão. O mesmo é equipado com conexão USB, modelos de 2 canais, frequência de amostragem de 2,5 GS/s em todos os canais, comprimento de registro de 2500 em todos os canais, além de outras funcionalidades padrões.

O armazenamento dos sinais é transmitido através de um cabo USB 2.0 que através de um software é possível armazenar os valores das grandezas e suas respectivas formas de onda. Na Figura 11 é demonstrado o osciloscópio.



**Figura 11: Osciloscópio digital de armazenamento Tektronix.**

**Fonte: Tektronix.**

### 3.4 MONTAGEM EXPERIMENTAL

Como exposto anteriormente, foi desenvolvido uma montagem experimental em laboratório de uma placa de condicionamento de sinais. As curvas de tensão e corrente analisados serão amostradas utilizando um modulo de aquisição de dados (A/D) da National Instruments (DAQ) NI USB-6211 e para que se consiga gerar e armazenar as amostras de tensão e corrente elétrica analisados será utilizado um algoritmo no software MATLAB. Para melhor entendimento o algoritmo está apresentado no Apêndice A no final deste trabalho.

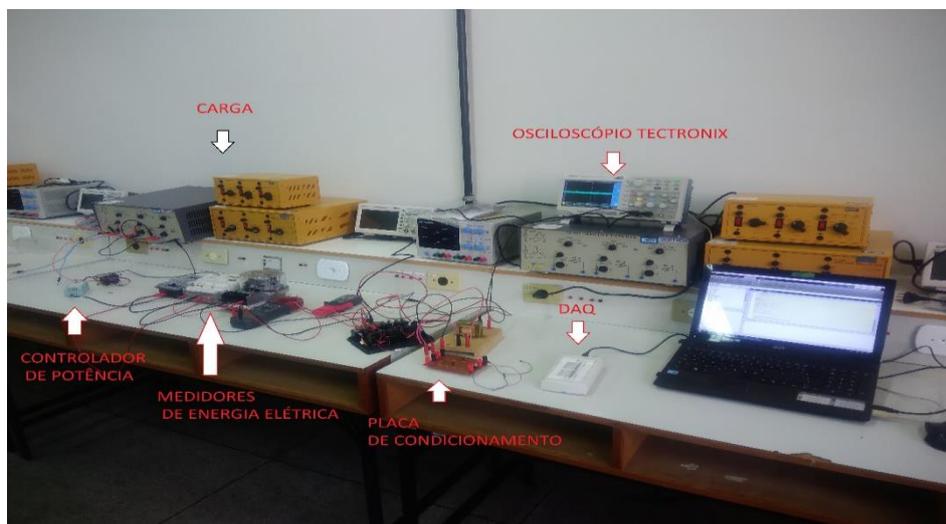
Além da aquisição dos sinais através da DAQ, foi efetuado também uma outra forma de aquisição dos sinais através do osciloscópio digital de armazenamento da Tektronix,

este osciloscópio possui uma frequência de amostragem de 2500KS/s e duas entradas, que através de um software próprio do equipamento foi possível fazer a aquisição dos sinais através de um cabo USB 2.0 onde os dados obtidos dos sinais será implementado no MATLAB.

Para simular cargas não lineares foi utilizado um controlador de potência com TRIAC na configuração tradicional que determina o ponto de disparo nos semiciclos da corrente alternada da rede de energia, similar a um circuito de chuveiro eletrônico.

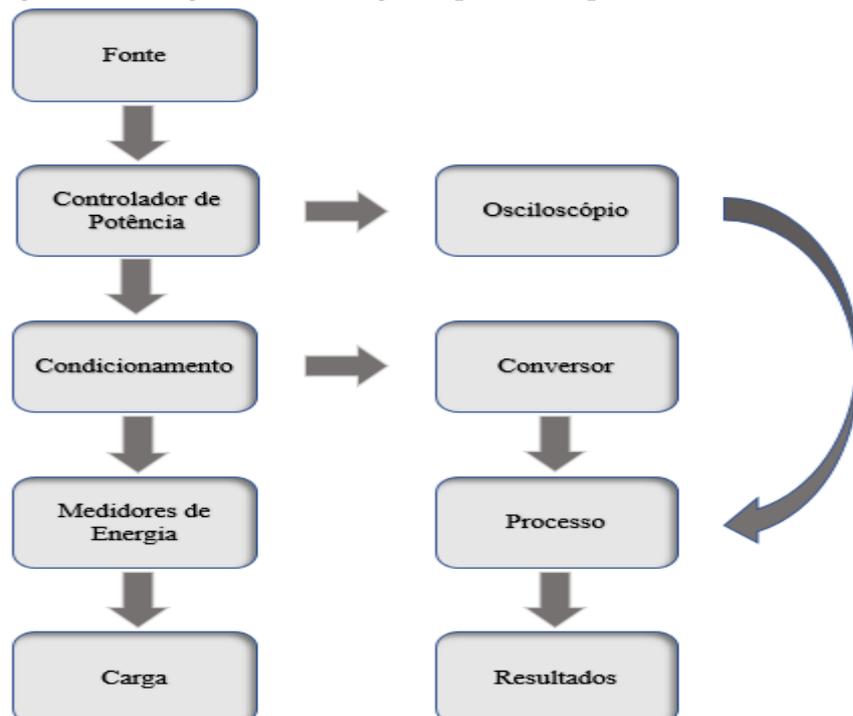
Na Figura 12, é demonstrado uma foto real da bancada experimental com todos os equipamentos utilizados e na Figura 13 é apresentado um fluxograma deste processo.

**Figura 12: Bancada experimental.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 13: Fluxograma da montagem experimental para levantamento dos parâmetros.**



Fonte: Autoria própria.

Portanto, após o armazenamento e aquisição dos dados foi elaborado um algoritmo no software MATLAB para calcular as grandezas dos métodos de análise de potência que foram citadas no trabalho, apresentado no Apêndice A.

Foram coletados os sinais de tensão e corrente através de dois equipamentos de aquisição, que foram, a DAQ NI USB-6211 e o osciloscópio digital da Tektronix, onde os mesmos foram apresentados anteriormente. A aquisição através da DAQ foi necessário utilizar um transformador de potência (TP); um transformador de corrente (TC) e a placa de condicionamento com seu respectivo filtro RC passa baixa. Os transformadores TP e TC possuem perdas e relação de transformação, que foram compensados no algoritmo. O Filtro RC passa baixa apresentou uma pequena defasagem que está demonstrada através do diagrama de Bode (Figura 9) que também foi compensada.

A aquisição auxiliar dos sinais de tensão e corrente através do osciloscópio digital da Tektronix, foram coletados através de um alicate amperímetro em série com a carga em análise e ponteiras de tensão em paralelo com a carga, ou seja, diferente do ponto de aquisição da DAQ. Neste ponto, não foi necessário utilizar os transformadores TP e TC; e nem mesmo a placa de condicionamento de sinais com seu filtro RC passa baixa.

#### 4 ENSAIO E RESULTADOS

Para a aquisição dos sinais de tensão e corrente, foram determinados quatro tipos de ângulos de disparo utilizando o controlador de potência com TRIAC que determina o ponto de disparo do semiciclo da corrente. Portanto, foram determinados aproximadamente ângulos de 45°, 60°, 90° e 330°, que foram denominados como A1, A2, A3 e A4 respectivamente.

Para melhor se compactar os resultados, será demonstrado neste tópico apenas os resultados com ângulos de disparo de 60° e 90°. Os outros dois resultados utilizando os ângulos de disparo de 45° e 330° estará anexado no apêndice B no final deste trabalho.

Também foram utilizados as próprias cargas resistivas encontradas no laboratório da Universidade que foram chamadas de R1, R2 e R3 com dimensões de 800W/61Ω cada resistência. As mesmas foram ligadas em paralelo e foram sendo usadas gradualmente da seguinte forma: primeiro foi adquirido os sinais de tensão e corrente com ângulo de disparo de 60° (A2) com apenas uma carga ligada de 61Ω (R1), depois foi adquirido com duas cargas ligadas 30,5Ω (R2); e por fim com as três cargas ligadas 20,3Ω (R3). Depois, repete-se o mesmo processo, porém, com o próximo ângulo de disparo 90° (A3). Na Tabela 3 estão representados esses processos citados acima com seus respectivos ângulos de disparo e carga utilizada.

**Tabela 3: Processo das aquisições dos sinais de tensão e corrente.**

	Processos					
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
<b>Ângulo de disparo /</b>	60°	60°	60°	90°	90°	90°
<b>Carga</b>	com 61Ω	com 30,5Ω	com 20,3Ω	com 61Ω	com 30,5Ω	com 20,3Ω

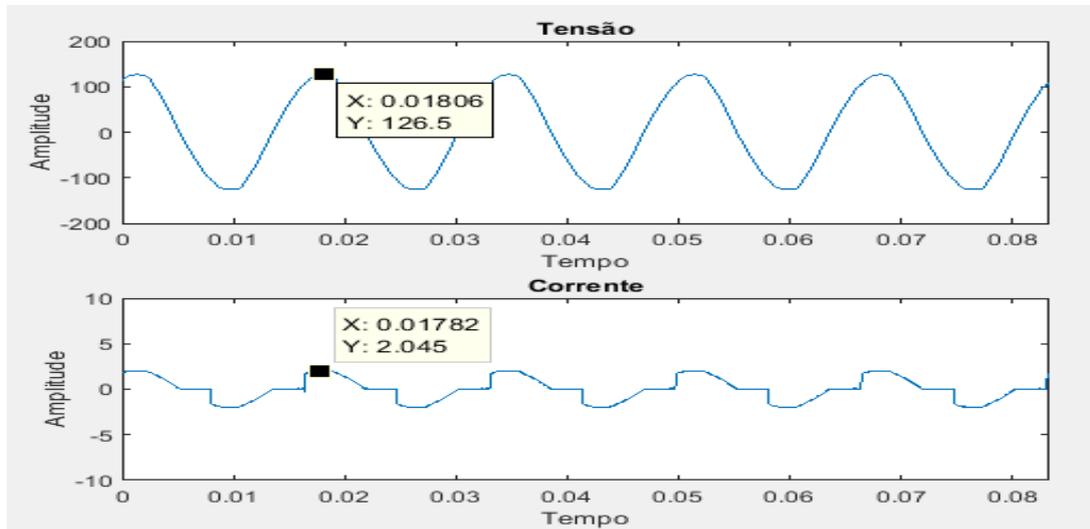
**Fonte: Autoria própria.**

A seguir será apresentado os resultados obtidos através dos métodos de análise de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459 e seus gráficos de tensão, corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente respectivamente, que foram adquiridos através da DAQ e do Osciloscópio Tektronix e simulados através do MATLAB.

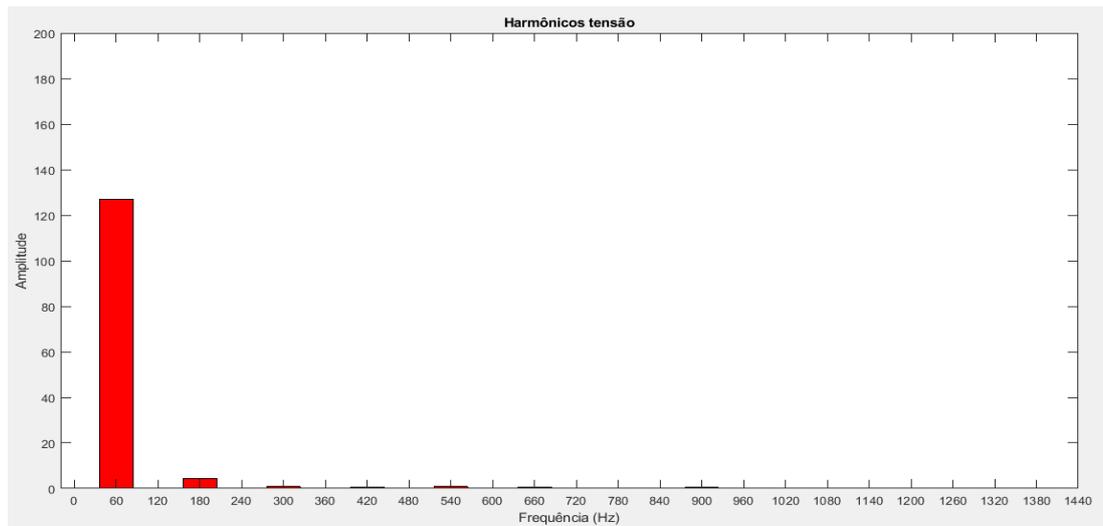
Primeiro caso: Representado nas Figuras 14, 15 e 16 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através da DAQ. Nas Figuras 17, 18 e 19 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através do

osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo de aproximadamente  $60^\circ$  (A2) e carga  $61\Omega$  (R1).

**Figura 14: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.**



**Figura 15: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.**



**Figura 16: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.**

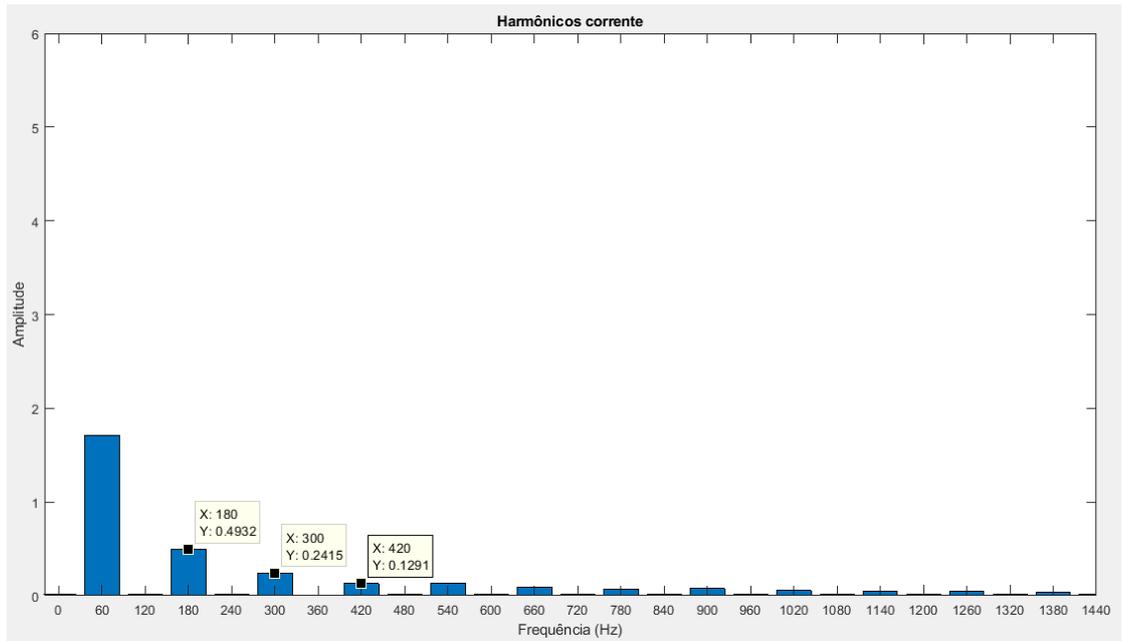


Figura 17: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.

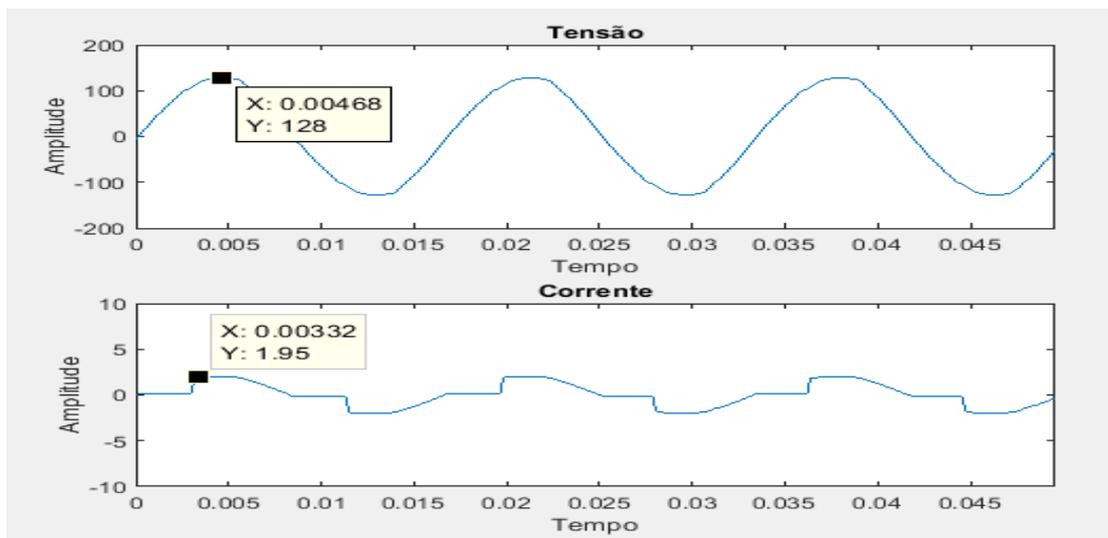


Figura 18: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.

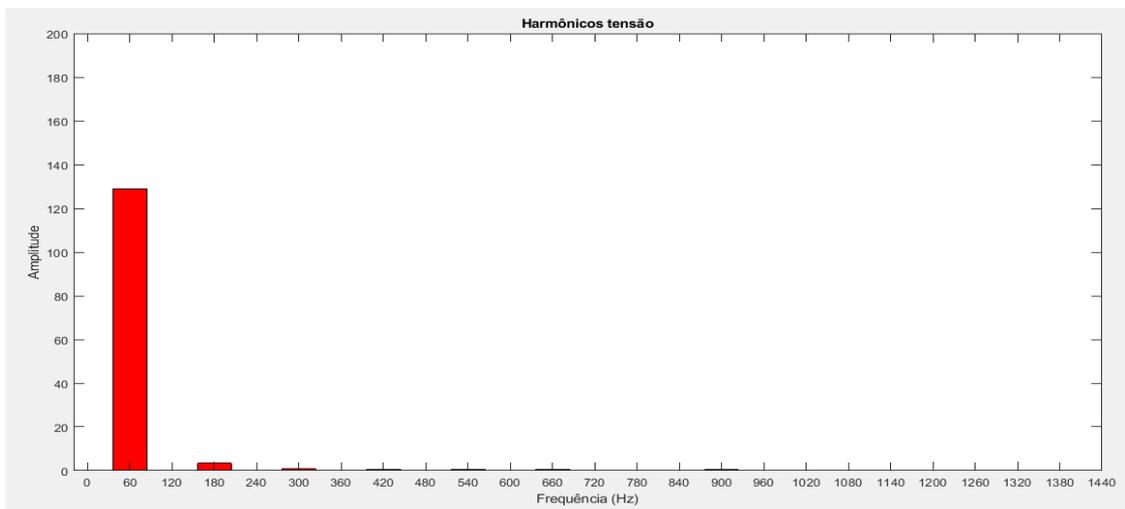
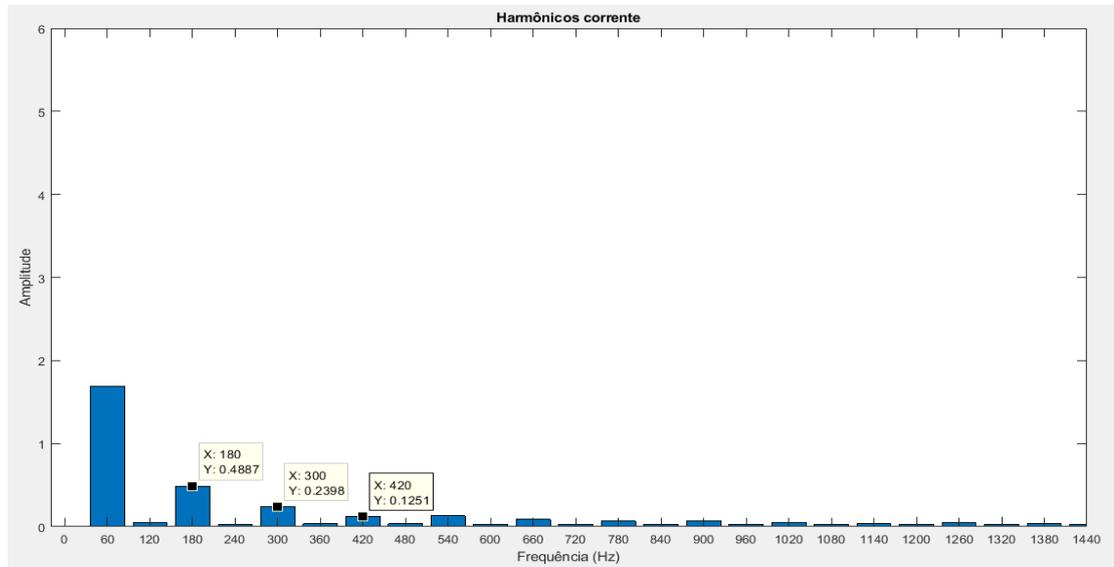


Figura 19: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.



Na Tabela 4 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássica, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio para o primeiro caso, respectivamente.

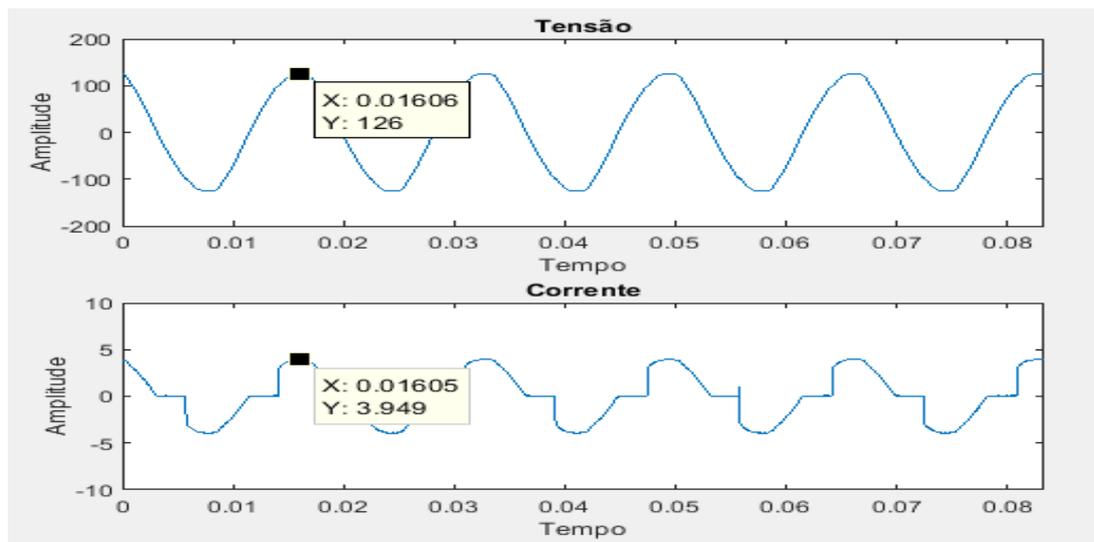
**Tabela 4: Resultados dos métodos de análises de potência clássica, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 60° (A2) e carga 61Ω (R1).**

	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	1,7088	1,8133	127,0556	127,1373
Osciloscópio	1,6877	1,7926	128,3535	128,4299
<b>Aquisição</b>				
Métodos	Grandezas		DAQ	Osciloscópio
Clássico	Potência Ativa (W)		213,309	212,6336
	Potência Reativa (Var)		40,4341	41,4104
	Potência Aparente (Va)		217,1074	216,6284
	Fator de Potência		0,9825	0,9816
Budeanu	Potência Ativa (W)		214,0889	213,8347
	Potência Reativa (Var)		38,6531	40,3404
	Potência Aparente (Va)		230,5353	230,2211
	Potência de Distorção		76,2785	75,1610
IEEE 1459 - 2010	Fator de Potência		0,9287	0,9288
	Potência Ativa Fundamental (W)		213,309	212,6336
	Potência Ativa Harmônica (W)		0,7799	1,2010
	Potência Ativa Total (W)		214,0889	213,8347
	Potência Reativa Fundamental (Var)		40,4341	41,4104
	Potência Aparente Fundamental (Va)		217,1074	216,6284
	Potência Aparente Harmônica (Va)		2,7629	2,6731
	Potência de Distorção de Corrente (Var)		77,0648	77,5299
	Potência de Distorção de Tensão (Var)		7,7838	7,4689
	Distorção Harmônica Total de Corrente (%)		35,5	35,79

<b>Distorção Harmônica Total de Tensão (%)</b>	<b>3,59</b>	<b>3,45</b>
<b>Potência de Distorção Harmônica (Var)</b>	<b>2,6506</b>	<b>2,3880</b>
<b>Potência Aparente Não Fundamental (Va)</b>	<b>77,5061</b>	<b>77,9347</b>
<b>Potência Aparente Total (Va)</b>	<b>230,5273</b>	<b>230,2210</b>
<b>Potência Não Ativa (Var)</b>	<b>85,4914</b>	<b>85,3020</b>
<b>Fator de Potência</b>	<b>0,9860</b>	<b>0,9816</b>
<b>Fator de Potência Verdadeiro</b>	<b>0,9259</b>	<b>0,9242</b>
<b>Fator de Distorção</b>	<b>0,9452</b>	<b>0,9463</b>

Segundo caso: Representado nas Figuras 20, 21 e 22 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram aquiritados através da DAQ. Nas Figuras 23, 24 e 25 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram aquiritados através do osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo de aproximadamente  $60^\circ$  (A2) e carga  $30,5\Omega$  (R2).

**Figura 20: Sinais de tensão e corrente aquiritados pela DAQ.**



**Figura 21: Harmônicos de tensão aquiritados pela DAQ.**

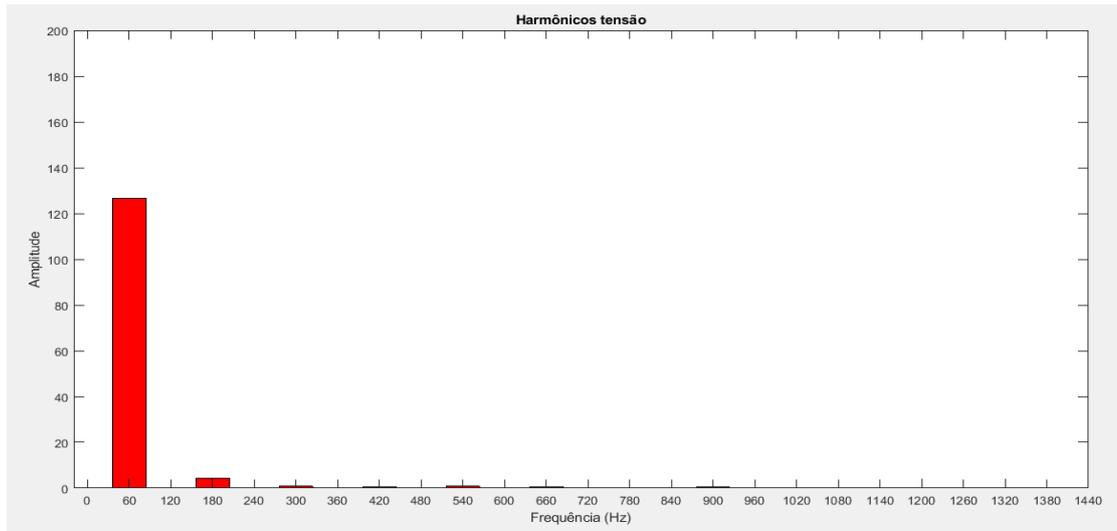


Figura 22: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.

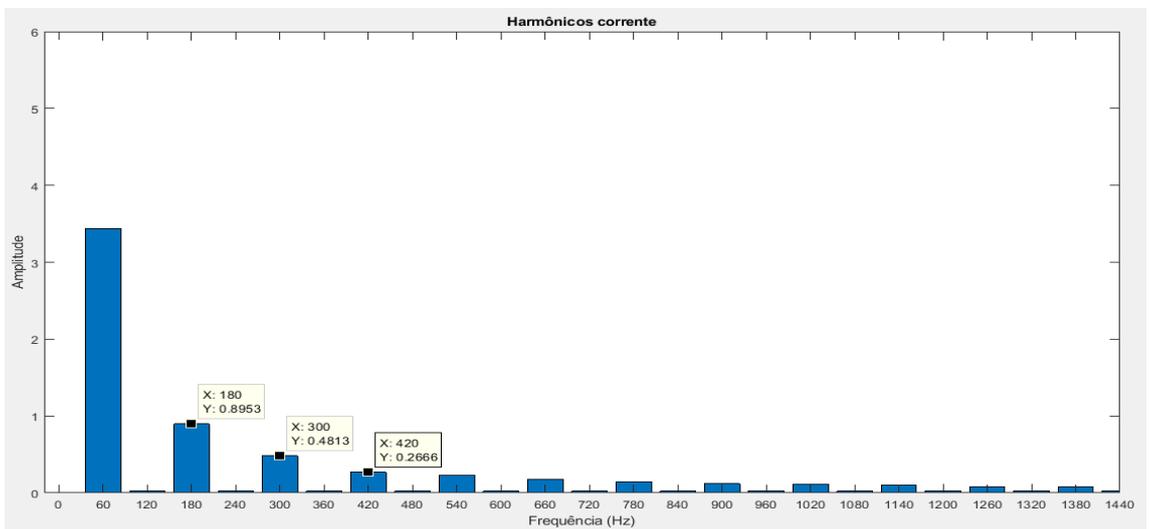


Figura 23: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.

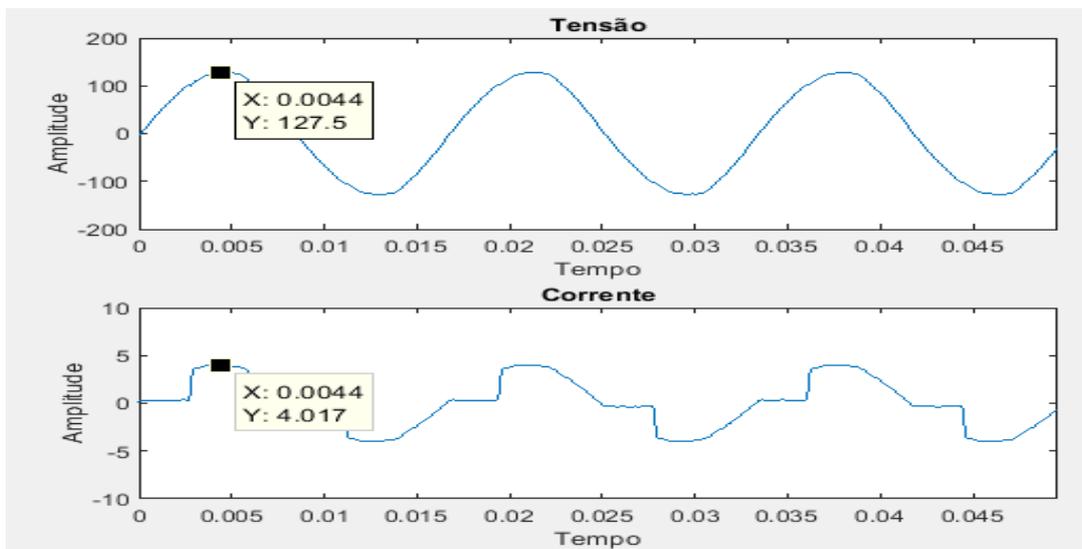


Figura 24: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.

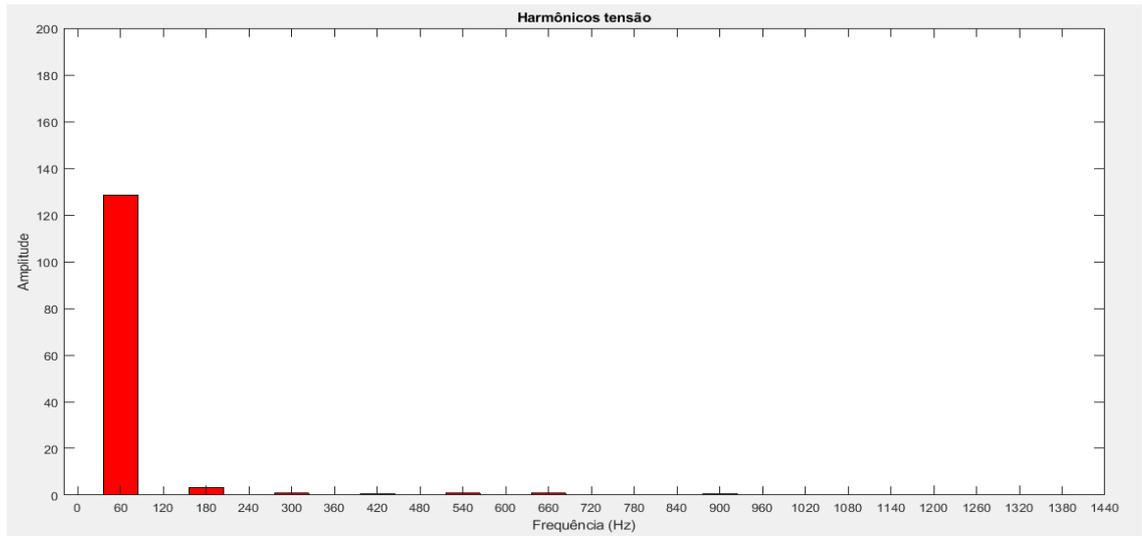
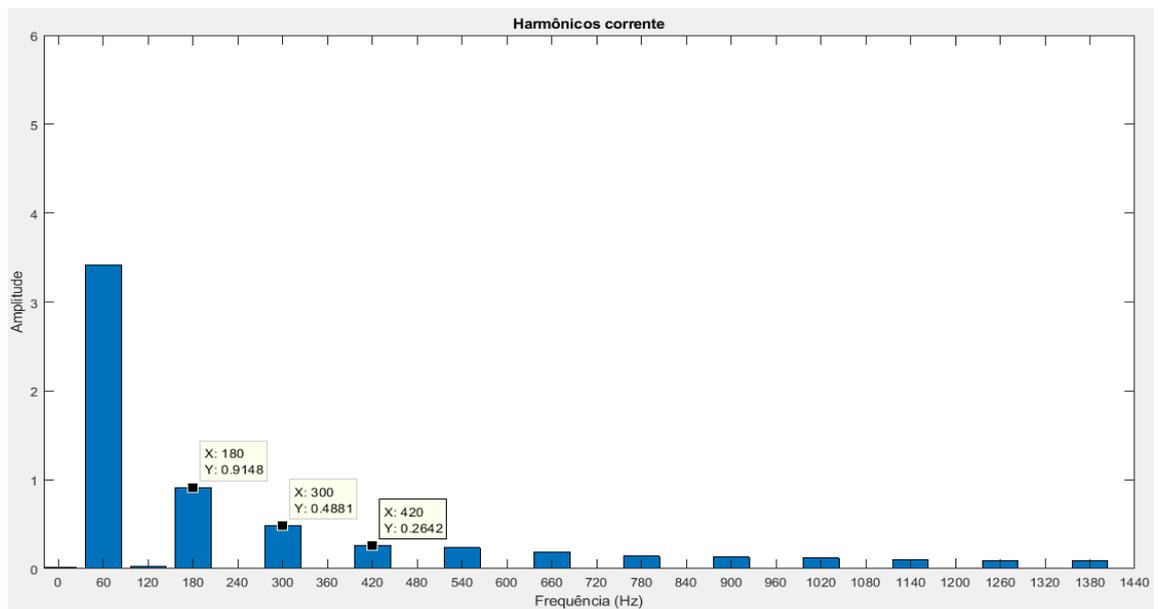


Figura 25: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.



Na Tabela 5 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais aqisitados pela DAQ e osciloscópio para o segundo caso, respectivamente.

**Tabela 5: Resultados dos métodos de analises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqisitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo  $60^\circ$  (A2) e carga  $30,5\Omega$  (R2).**

	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	<b>3,4380</b>	<b>3,6176</b>	<b>126,55</b>	<b>126,6342</b>
Osciloscópio	<b>3,4169</b>	<b>3,6041</b>	<b>128,0374</b>	<b>128,1134</b>
Aquisição				
Métodos	Grandezas		DAQ	Osciloscópio
Clássico	Potência Ativa (W)		<b>429,9128</b>	<b>431,7577</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>66,8891</b>	<b>70,5747</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>435,0852</b>	<b>437,4877</b>

	<b>Fator de Potência</b>	<b>0,9881</b>	<b>0,9869</b>
Budeanu	<b>Potência Ativa (W)</b>	<b>430,6745</b>	<b>433,4897</b>
	<b>Potência Reativa (Var)</b>	<b>63,5795</b>	<b>68,0372</b>
	<b>Potência Aparente (Va)</b>	<b>458,1179</b>	<b>461,7281</b>
	<b>Potência de Distorção</b>	<b>142,6501</b>	<b>143,7026</b>
	<b>Fator de Potência</b>	<b>0,9401</b>	<b>0,9388</b>
IEEE 1459 - 2010	<b>Potência Ativa Fundamental (W)</b>	<b>429,9128</b>	<b>431,7577</b>
	<b>Potência Ativa Harmônica (W)</b>	<b>0,7618</b>	<b>1,7321</b>
	<b>Potência Ativa Total (W)</b>	<b>430,6745</b>	<b>433,4897</b>
	<b>Potência Reativa Fundamental (Var)</b>	<b>66,8891</b>	<b>70,5747</b>
	<b>Potência Aparente Fundamental (Va)</b>	<b>435,0852</b>	<b>437,4877</b>
	<b>Potência Aparente Harmônica (Va)</b>	<b>5,1944</b>	<b>5,0525</b>
	<b>Potência de Distorção de Corrente (Var)</b>	<b>142,4522</b>	<b>146,7696</b>
	<b>Potência de Distorção de Tensão (Var)</b>	<b>15,8650</b>	<b>15,0605</b>
	<b>Distorção Harmônica Total de Corrente (%)</b>	<b>32,74</b>	<b>33,55</b>
	<b>Distorção Harmônica Total de Tensão (%)</b>	<b>3,65</b>	<b>3,44</b>
	<b>Potência de Distorção Harmônica (Var)</b>	<b>5,1382</b>	<b>4,7467</b>
	<b>Potência Aparente Não Fundamental (Va)</b>	<b>143,4270</b>	<b>147,6268</b>
	<b>Potência Aparente Total (Va)</b>	<b>458,1162</b>	<b>461,7241</b>
	<b>Potência Não Ativa (Var)</b>	<b>156,1727</b>	<b>158,9835</b>
	<b>Fator de Potência</b>	<b>0,9881</b>	<b>0,9869</b>
	<b>Fator de Potência Verdadeiro</b>	<b>0,9391</b>	<b>0,9357</b>
	<b>Fator de Distorção</b>	<b>0,9514</b>	<b>0,9513</b>

Terceiro caso: Representado nas Figuras 26, 27 e 28 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através da DAQ. Nas Figuras 29, 30 e 31 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através do osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo de aproximadamente  $60^\circ$  (A2) e carga  $20,3\Omega$  (R3).

**Figura 26: Sinais de tensão e corrente adquiridos pela DAQ.**

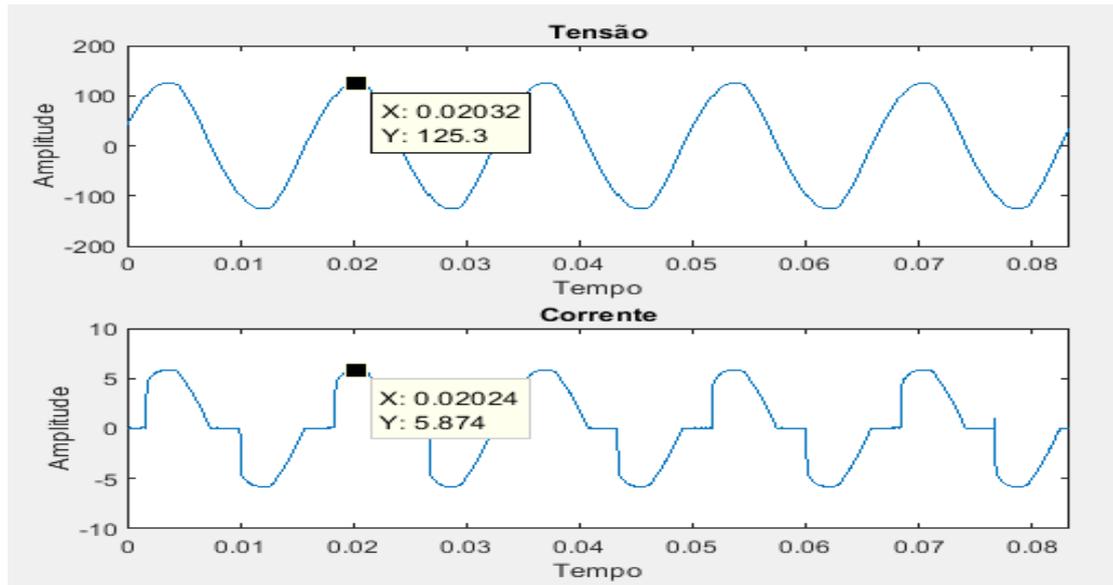


Figura 27: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.

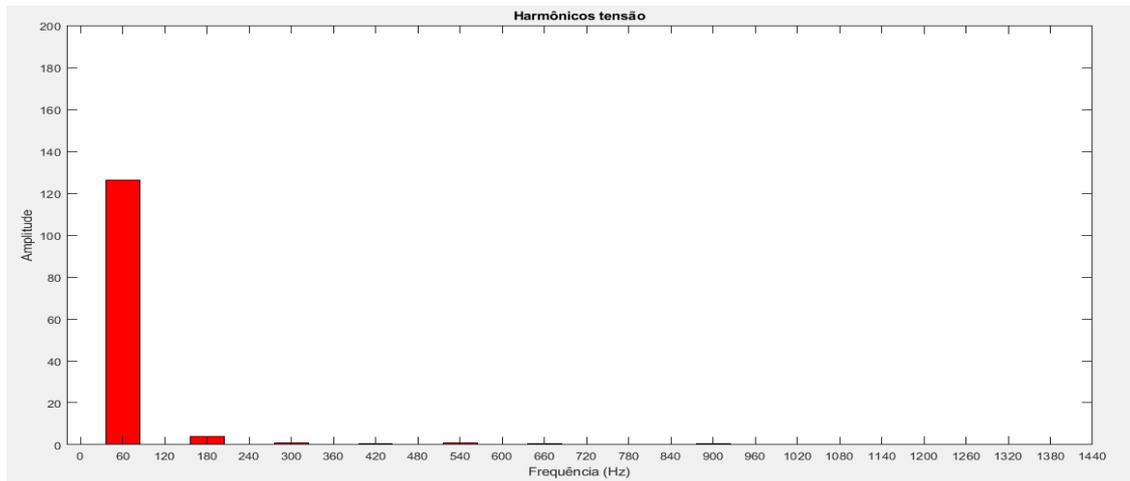


Figura 28: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.

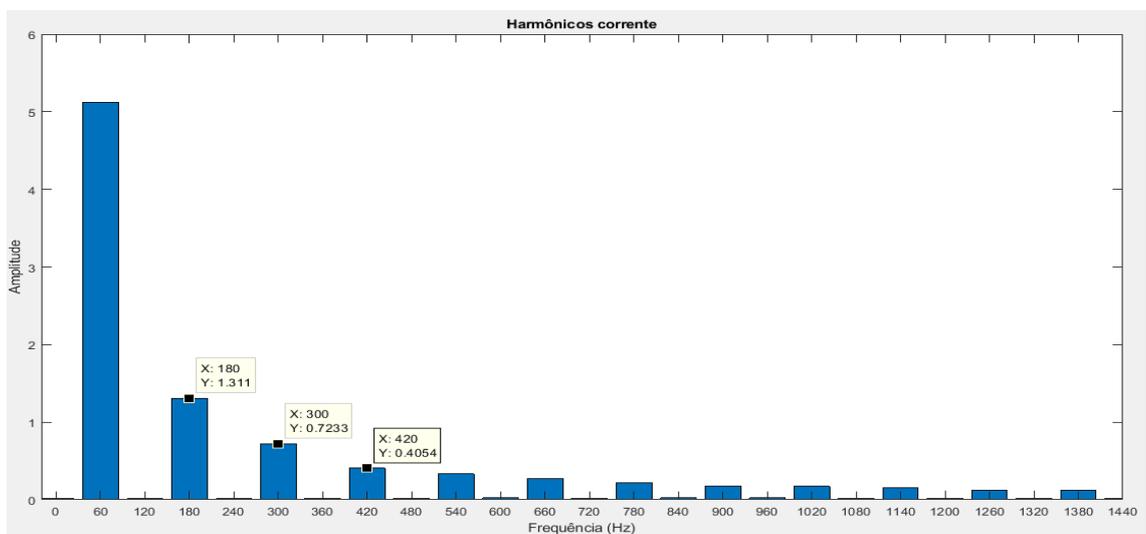


Figura 29: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.

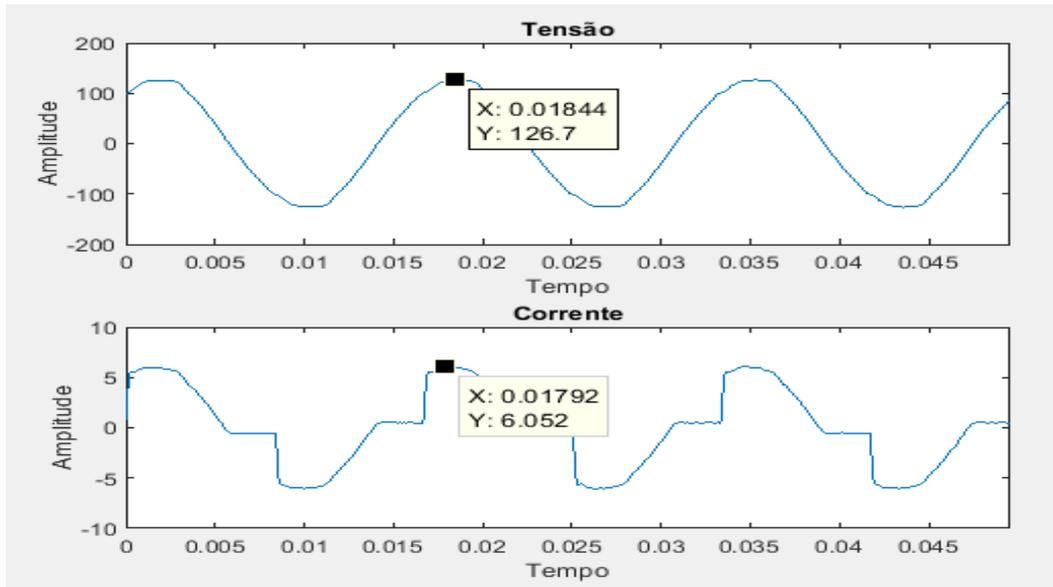


Figura 30: Harmônicos de tensão aqisitados pelo osciloscópio.

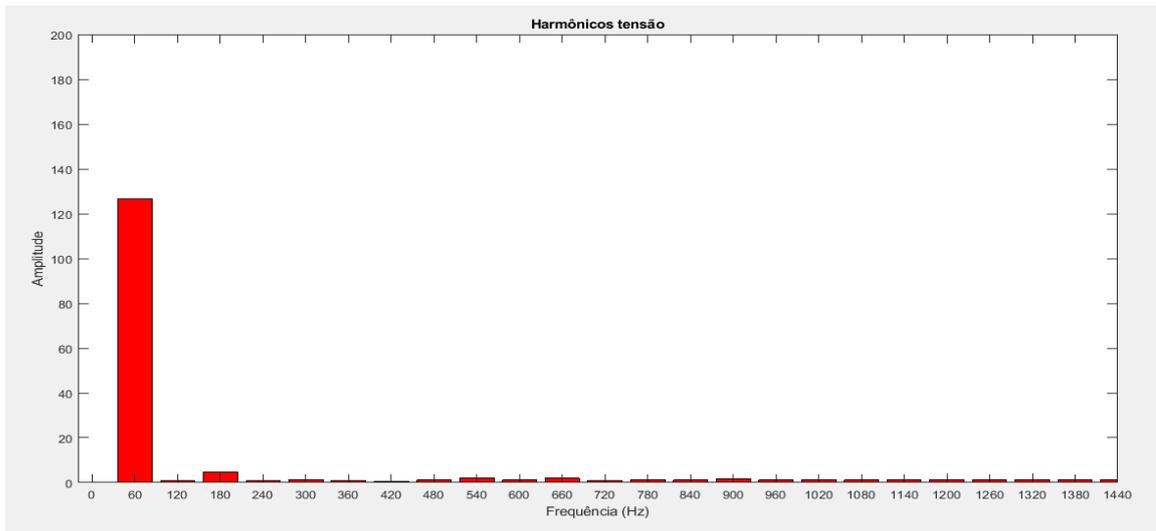
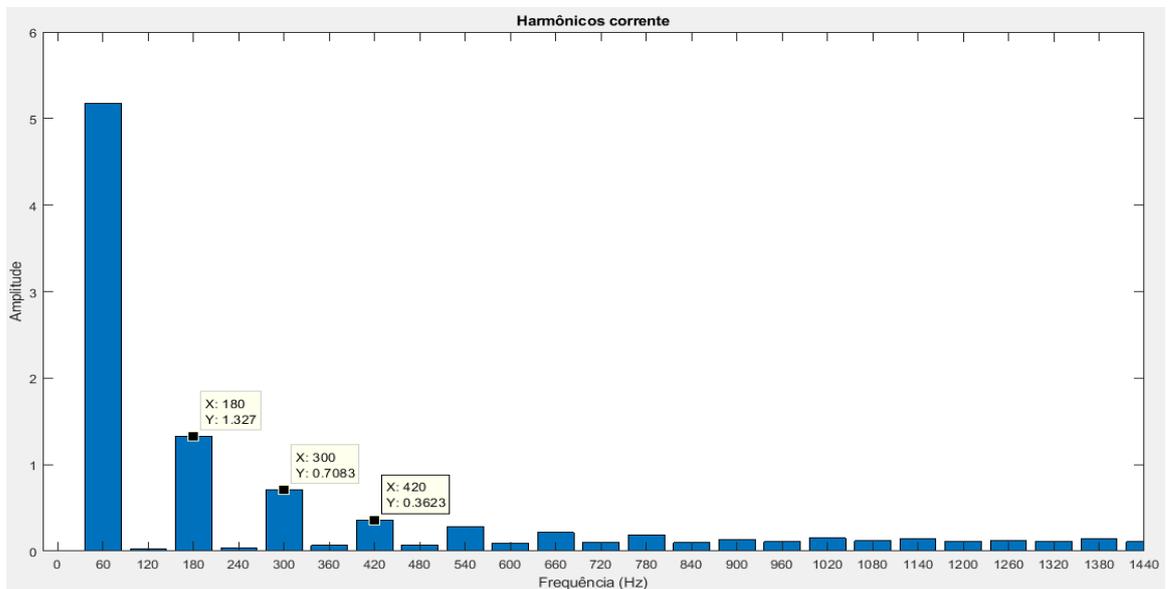


Figura 31: Harmônicos de corrente aqisitados pelo osciloscópio.



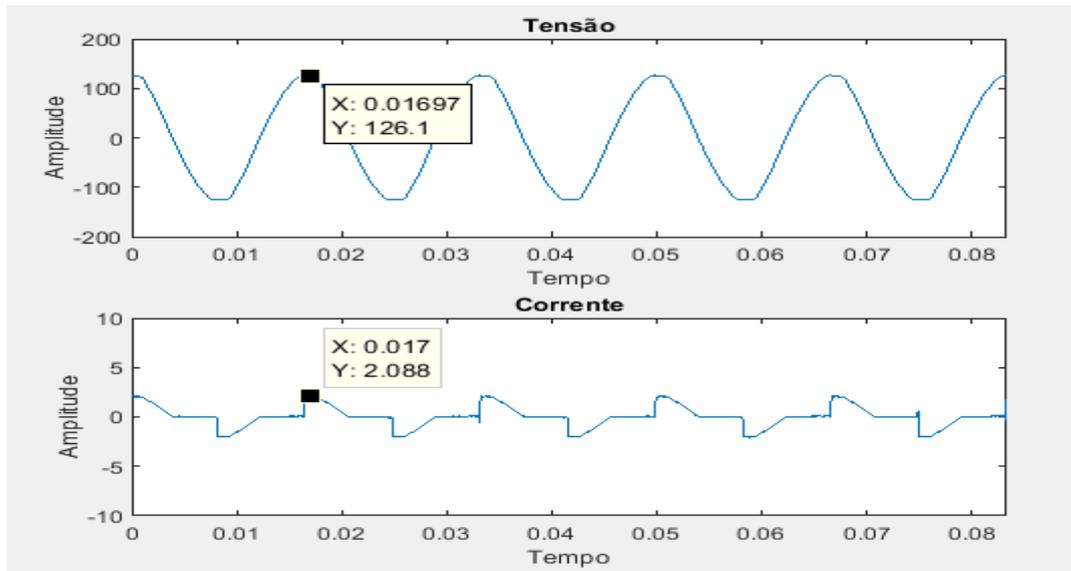
Na Tabela 6 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio para o terceiro caso, respectivamente.

**Tabela 6: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 60° (A2) e carga 20,3Ω (R3).**

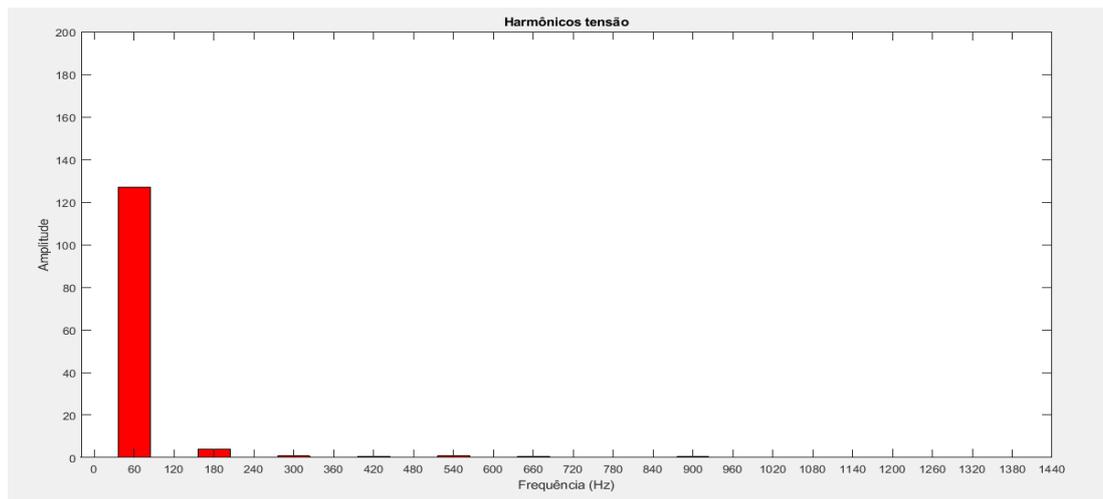
	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	<b>5,1199</b>	<b>5,3822</b>	<b>126,17</b>	<b>126,2474</b>
Osciloscópio	<b>5,1704</b>	<b>5,4307</b>	<b>127,0321</b>	<b>127,2237</b>
<b>Aquisição</b>				
Métodos	Grandezas		DAQ	Osciloscópio
Clássico	Potência Ativa (W)		<b>638,5656</b>	<b>649,7461</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>97,5646</b>	<b>96,0670</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>645,9759</b>	<b>656,8097</b>
	Fator de Potência		<b>0,9885</b>	<b>0,9892</b>
Budeanu	Potência Ativa (W)		<b>639,0183</b>	<b>650,1826</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>93,0992</b>	<b>90,5522</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>679,5214</b>	<b>690,9163</b>
	Potência de Distorção		<b>211,5124</b>	<b>215,4722</b>
IEEE 1459 - 2010	Fator de Potência		<b>0,9404</b>	<b>0,9410</b>
	Potência Ativa Fundamental (W)		<b>638,5656</b>	<b>649,7461</b>
	Potência Ativa Harmônica (W)		<b>0,4527</b>	<b>0,4364</b>
	Potência Ativa Total (W)		<b>639,0183</b>	<b>650,1826</b>
	Potência Reativa Fundamental (Var)		<b>97,5646</b>	<b>96,0670</b>
	Potência Aparente Fundamental (Va)		<b>645,9759</b>	<b>656,8097</b>
	Potência Aparente Harmônica (Va)		<b>7,3394</b>	<b>11,5661</b>
	Potência de Distorção de Corrente (Var)		<b>209,5134</b>	<b>211,0177</b>
	Potência de Distorção de Tensão (Var)		<b>22,6291</b>	<b>36,0001</b>
	Distorção Harmônica Total de Corrente (%)		<b>32,43</b>	<b>32,13</b>
	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)		<b>3,5</b>	<b>5,48</b>
	Potência de Distorção Harmônica (Var)		<b>7,3255</b>	<b>11,5578</b>
	Potência Aparente Não Fundamental (Va)		<b>210,8597</b>	<b>214,3788</b>
	Potência Aparente Total (Va)		<b>679,5195</b>	<b>690,9104</b>
	Potência Não Ativa (Var)		<b>231,0894</b>	<b>233,7089</b>
	Fator de Potência		<b>0,9885</b>	<b>0,9882</b>
Fator de Potência Verdadeiro		<b>0,9404</b>	<b>0,9411</b>	
Fator de Distorção		<b>0,9513</b>	<b>0,9513</b>	

Quarto caso: Representado nas Figuras 32, 33 e 34 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através da DAQ. Nas Figuras 35, 36 e 37 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através do osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo de aproximadamente 90° (A3) e carga 61Ω (R1).

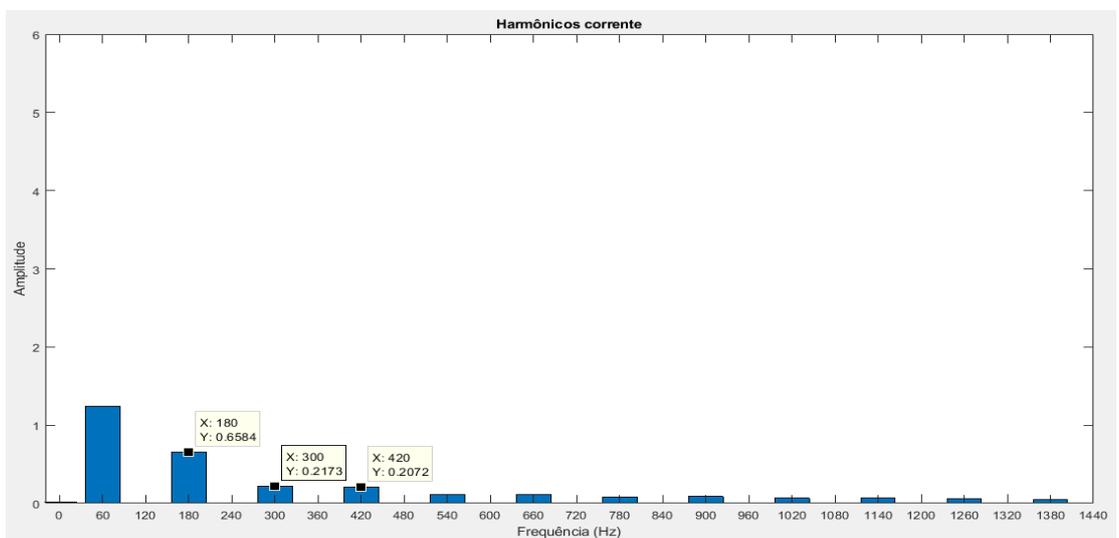
**Figura 32: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.**



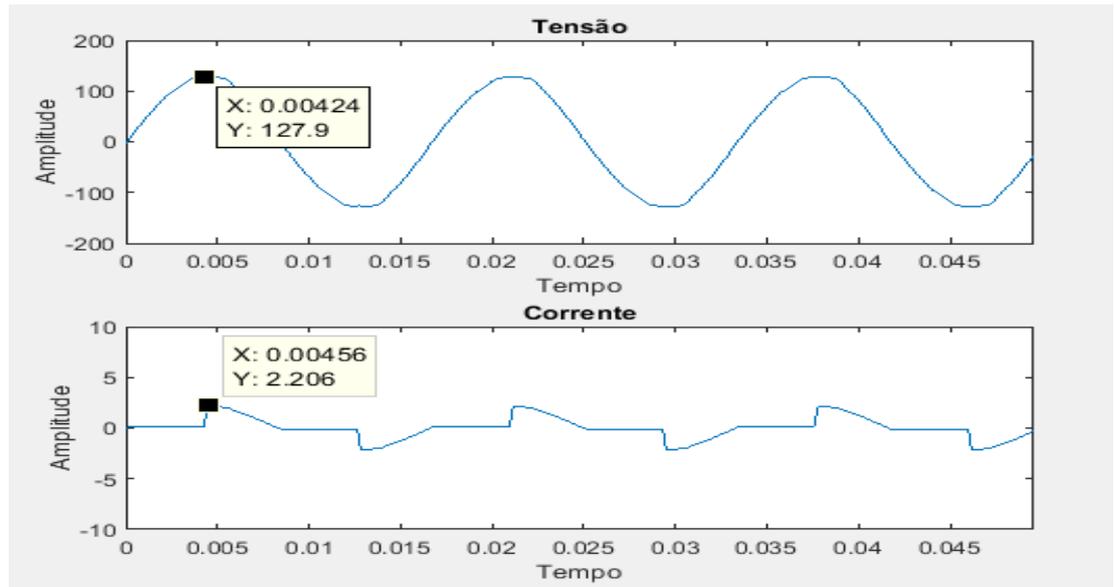
**Figura 33: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.**



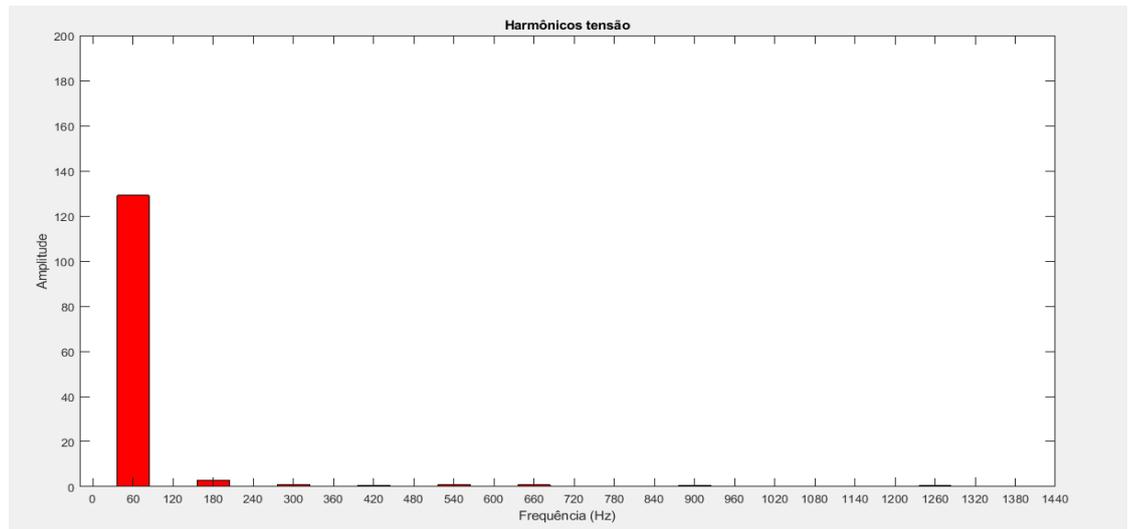
**Figura 34: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.**



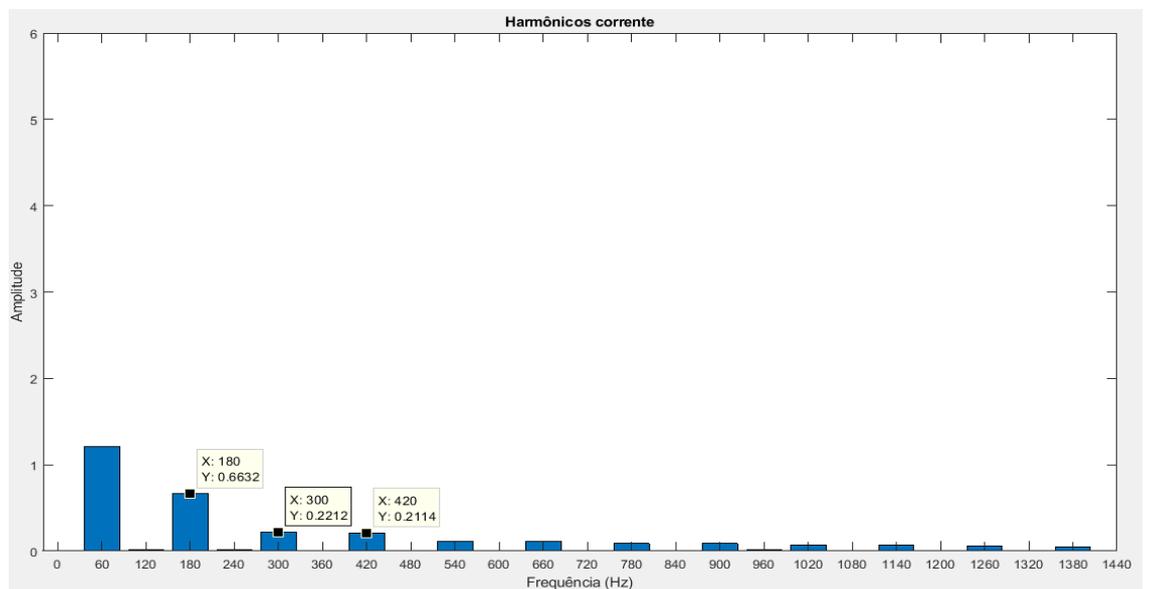
**Figura 35: Sinais de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 36: Harmônicos de tensão aquisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 37: Harmônicos de corrente aquisitados pelo osciloscópio.**



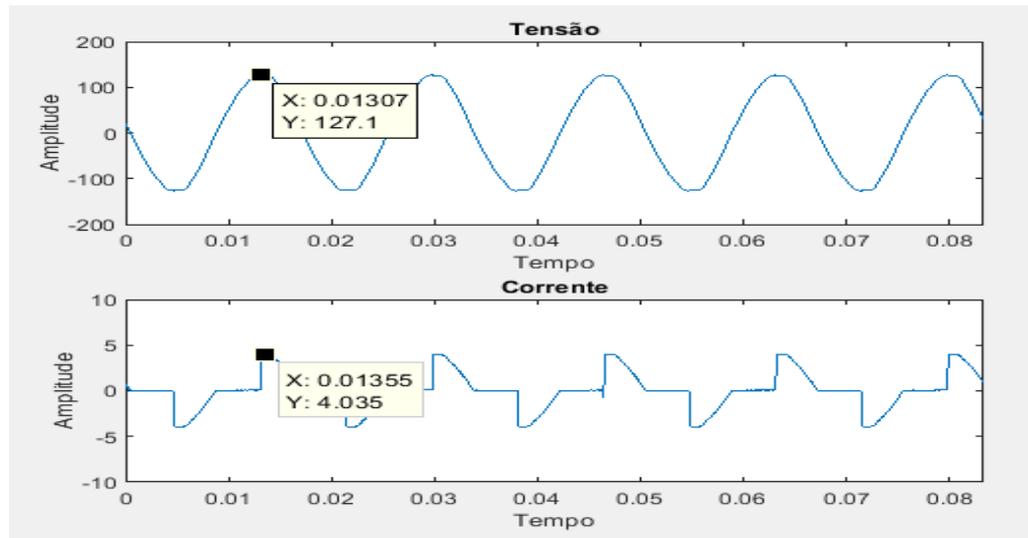
Na Tabela 7 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio para o quarto caso, respectivamente.

**Tabela 7: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo  $90^\circ$  (A3) e carga  $61\Omega$  (R1).**

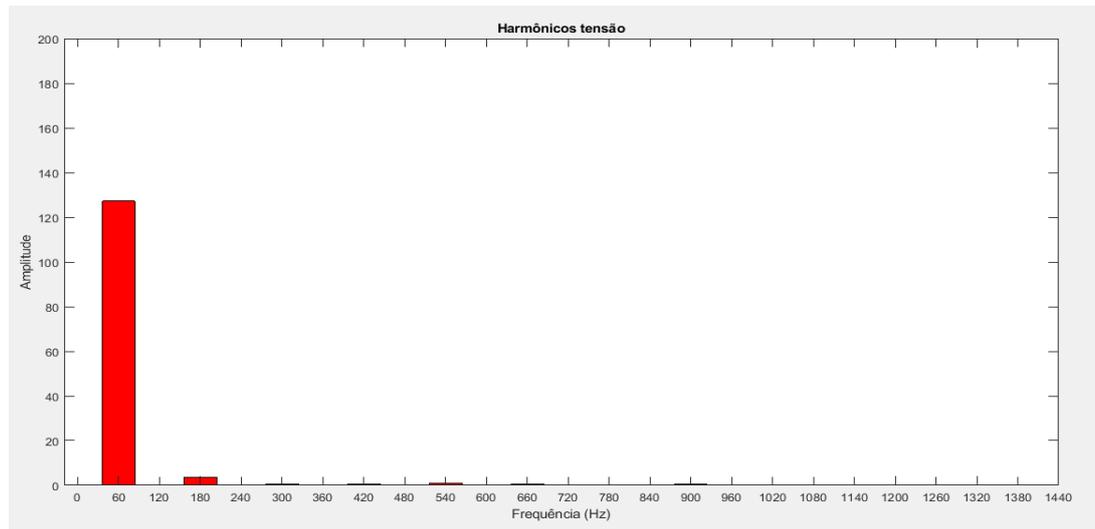
	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	<b>1,2431</b>	<b>1,4579</b>	<b>127,7501</b>	<b>127,8242</b>
Osciloscópio	<b>1,2126</b>	<b>1,4429</b>	<b>128,5832</b>	<b>128,6511</b>
Aquisição				
Métodos	Grandezas		DAQ	Osciloscópio
Clássico	Potência Ativa (W)		<b>143,4182</b>	<b>139,1750</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>68,2094</b>	<b>70,2888</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>158,8182</b>	<b>155,9173</b>
	Fator de Potência		<b>0,9031</b>	<b>0,8926</b>
Budeanu	Potência Ativa (W)		<b>145,7756</b>	<b>141,3441</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>67,4843</b>	<b>70,6250</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>186,3558</b>	<b>185,6273</b>
	Potência de Distorção		<b>94,4659</b>	<b>97,4235</b>
IEEE 1459 - 2010	Fator de Potência		<b>0,7822</b>	<b>0,7614</b>
	Potência Ativa Fundamental (W)		<b>143,4182</b>	<b>139,1750</b>
	Potência Ativa Harmônica (W)		<b>2,3574</b>	<b>2,1691</b>
	Potência Ativa Total (W)		<b>145,7756</b>	<b>141,3441</b>
	Potência Reativa Fundamental (Var)		<b>68,2094</b>	<b>70,2888</b>
	Potência Aparente Fundamental (Va)		<b>158,8122</b>	<b>155,9173</b>
	Potência Aparente Harmônica (Va)		<b>3,3146</b>	<b>3,2636</b>
	Potência de Distorção de Corrente (Var)		<b>97,2741</b>	<b>100,5511</b>
	Potência de Distorção de Tensão (Var)		<b>5,4116</b>	<b>5,0606</b>
	Distorção Harmônica Total de Corrente (%)		<b>61,25</b>	<b>64,49</b>
	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)		<b>3,41</b>	<b>3,25</b>
	Potência de Distorção Harmônica (Var)		<b>2,3301</b>	<b>2,4385</b>
	Potência Aparente Não Fundamental (Va)		<b>97,4809</b>	<b>100,7312</b>
	Potência Aparente Total (Va)		<b>186,3433</b>	<b>185,6259</b>
	Potência Não Ativa (Var)		<b>116,0745</b>	<b>120,3280</b>
	Fator de Potência		<b>0,9031</b>	<b>0,8926</b>
Fator de Potência Verdadeiro		<b>0,7701</b>	<b>0,7502</b>	
Fator de Distorção		<b>0,8663</b>	<b>0,8530</b>	

Quinto caso: Representado nas Figuras 38, 39 e 40 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através da DAQ. Nas Figuras 41, 42 e 43 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através do osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo de aproximadamente  $90^\circ$  (A3) e carga  $30,5\Omega$  (R2).

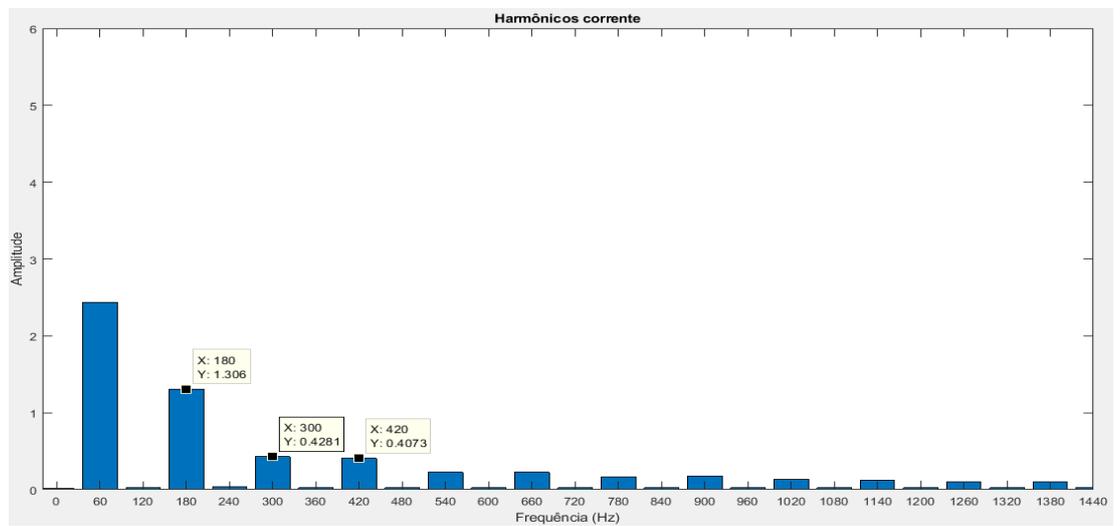
**Figura 38: Sinais de tensão e corrente aquisitados pela DAQ.**



**Figura 39: Harmônicos de tensão aquisitados pela DAQ.**



**Figura 40: Harmônicos de corrente aquisitados pela DAQ.**



**Figura 41: Sinais de tensão e corrente aquisitados pelo osciloscópio.**

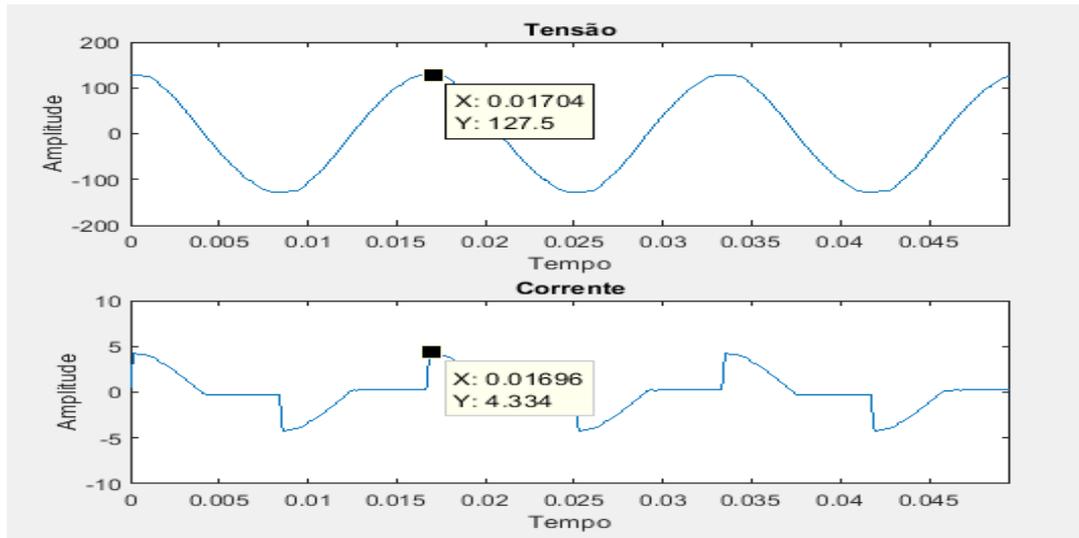


Figura 42: Harmônicos de tensão aquisitados pelo osciloscópio.

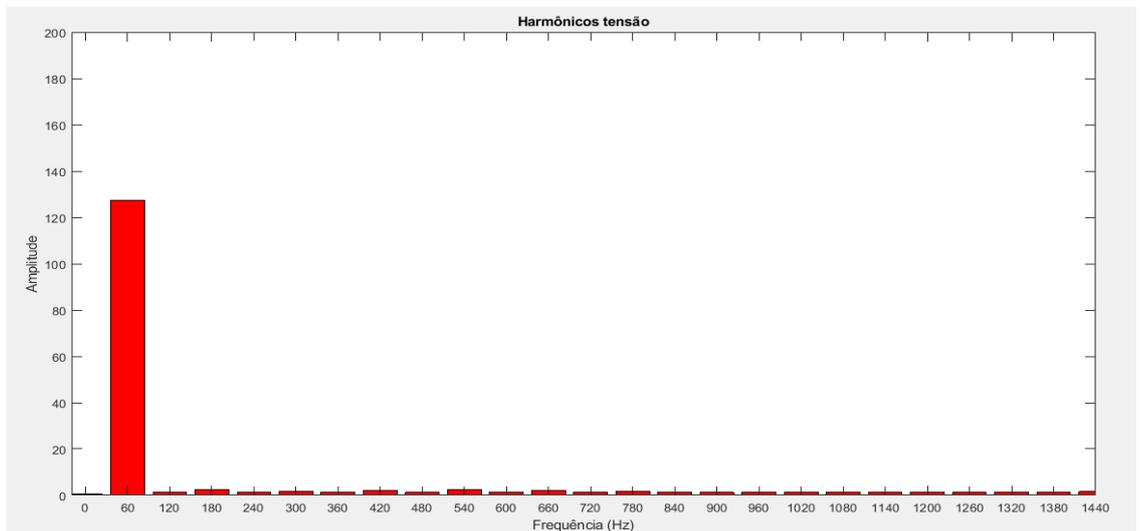
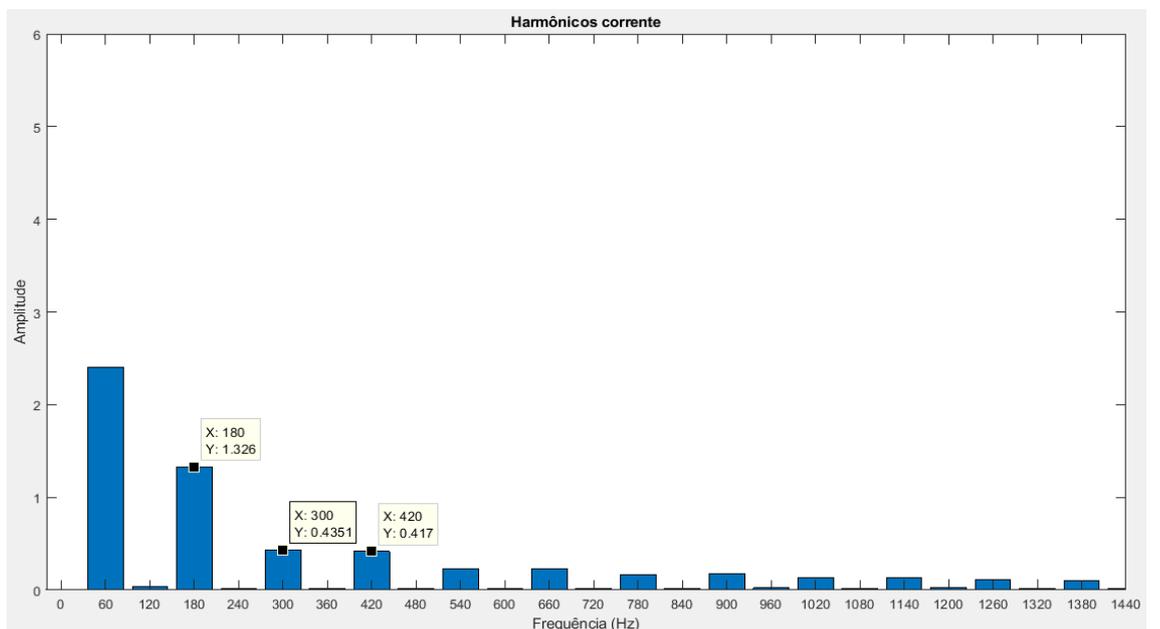


Figura 43: Harmônicos de corrente aquisitados pelo osciloscópio.



Na Tabela 8 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio para o quinto caso, respectivamente.

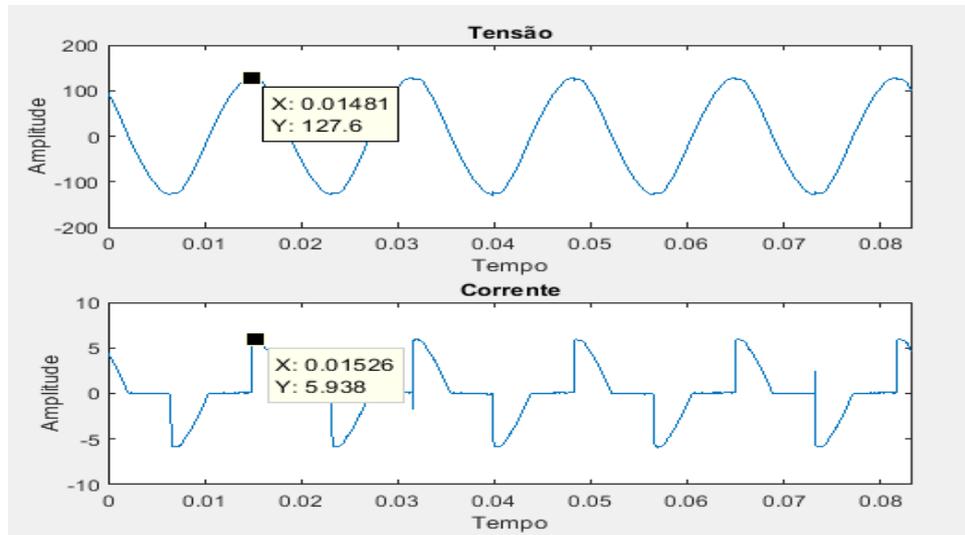
**Tabela 8: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo  $90^\circ$  (A3) e carga  $30,5\Omega$  (R2). (continua)**

	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	<b>2,4017</b>	<b>2,8455</b>	<b>127,1884</b>	<b>127,2523</b>
Osciloscópio	<b>2,4004</b>	<b>2,8368</b>	<b>128,2923</b>	<b>128,4523</b>
Aquisição				
Métodos	Grandezas		DAQ	Osciloscópio
Clássico	Potência Ativa (W)		<b>273,9105</b>	<b>275,4764</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>135,2246</b>	<b>137,6489</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>305,4712</b>	<b>307,921</b>
	Fator de Potência		<b>0,8967</b>	<b>0,8945</b>
Budeanu	Potência Ativa (W)		<b>278,0693</b>	<b>277,6901</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>134,3889</b>	<b>136,4930</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>362,1014</b>	<b>364,3887</b>
	Potência de Distorção		<b>189,0357</b>	<b>192,45</b>
	Fator de Potência		<b>0,7679</b>	<b>0,7621</b>
IEEE 1459 - 2010	Potência Ativa Fundamental (W)		<b>273,9105</b>	<b>275,4764</b>
	Potência Ativa Harmônica (W)		<b>4,1588</b>	<b>2,2136</b>
	Potência Ativa Total (W)		<b>278,0693</b>	<b>277,6901</b>
	Potência Reativa Fundamental (Var)		<b>135,2246</b>	<b>137,6489</b>
	Potência Aparente Fundamental (Va)		<b>305,4712</b>	<b>307,9521</b>
	Potência Aparente Harmônica (Va)		<b>6,1536</b>	<b>9,6535</b>
	Potência de Distorção de Corrente (Var)		<b>194,0892</b>	<b>193,9230</b>
	Potência de Distorção de Tensão (Var)		<b>9,6849</b>	<b>15,3299</b>
	Distorção Harmônica Total de Corrente (%)		<b>63,54</b>	<b>62,97</b>
	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)		<b>3,17</b>	<b>4,98</b>
	Potência de Distorção Harmônica (Var)		<b>4,5355</b>	<b>9,3963</b>
	Potência Aparente Não Fundamental (Va)		<b>194,4280</b>	<b>194,7674</b>
	Potência Aparente Total (Va)		<b>362,0980</b>	<b>364,3745</b>
	Potência Não Ativa (Var)		<b>231,9319</b>	<b>235,9174</b>
	Fator de Potência		<b>0,8967</b>	<b>0,8945</b>
	Fator de Potência Verdadeiro		<b>0,7568</b>	<b>0,7570</b>
Fator de Distorção		<b>0,8564</b>	<b>0,8519</b>	

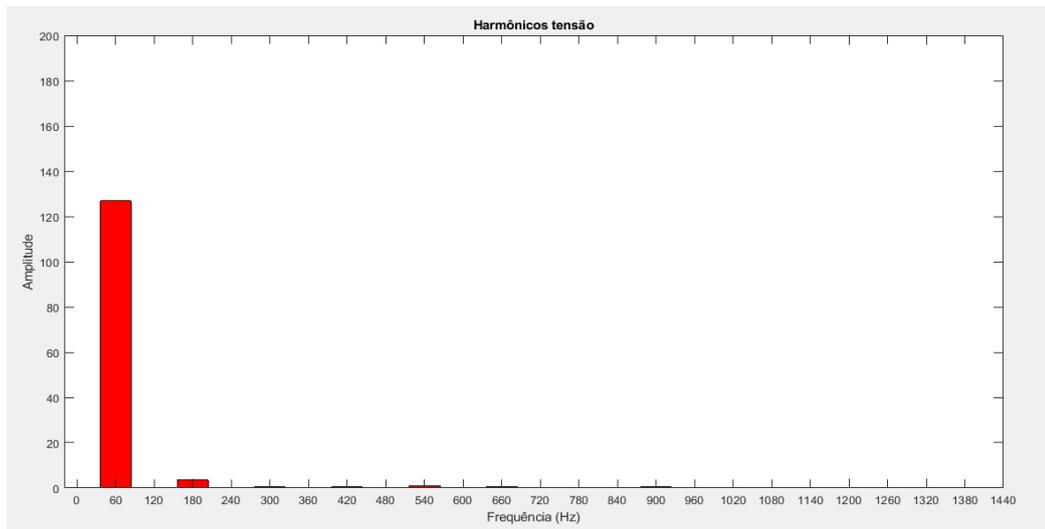
Sexto caso: Representado nas Figuras 44, 45 e 46 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através da DAQ. Nas Figuras 47, 48 e 49 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e

harmônicos de corrente, respectivamente, que foram aqisitados através do osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo de aproximadamente  $90^\circ$  (A3) e carga  $20,3\Omega$  (R3).

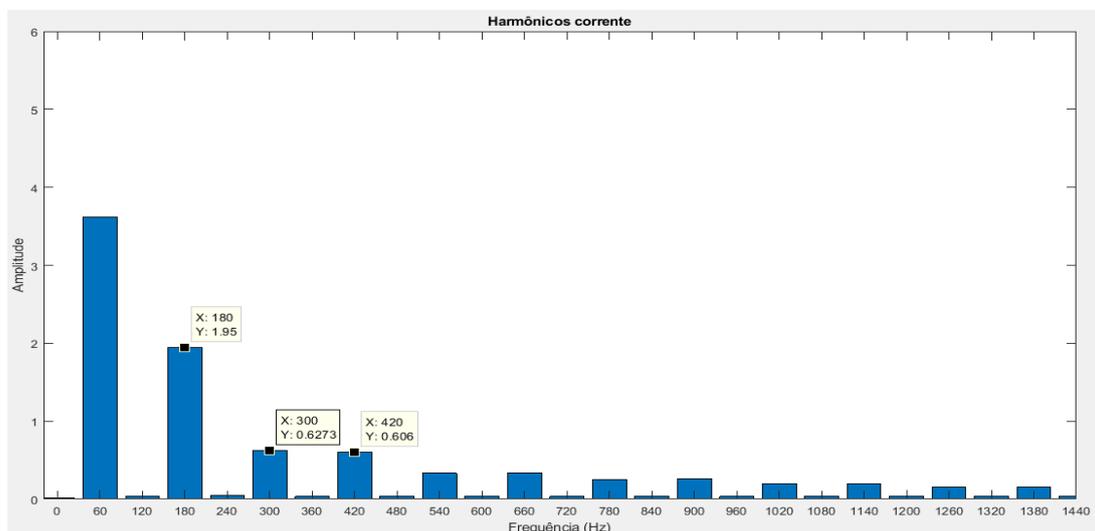
**Figura 44: Sinais de tensão e corrente aqisitados pela DAQ.**



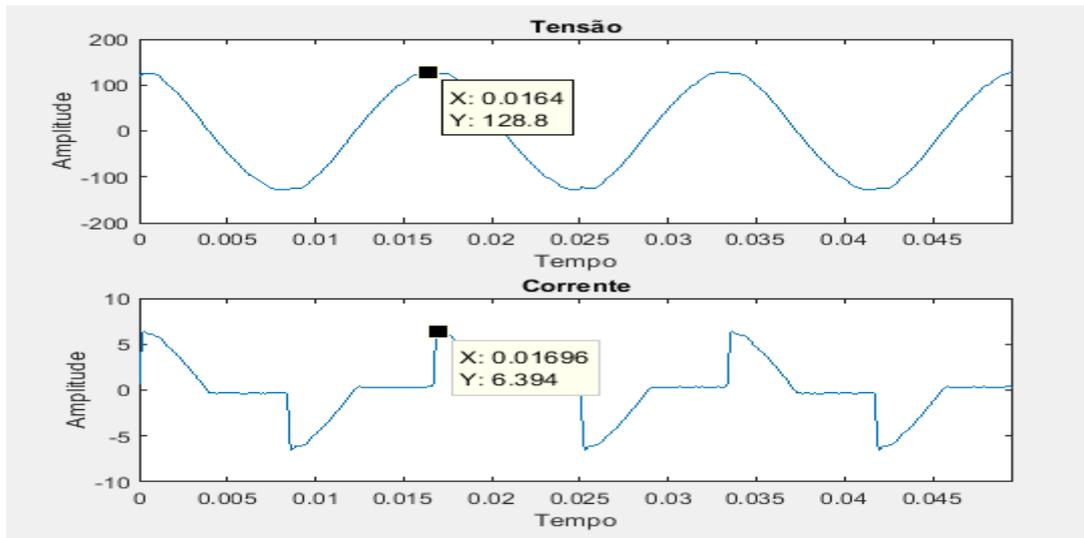
**Figura 45: Harmônicos de tensão aqisitados pela DAQ.**



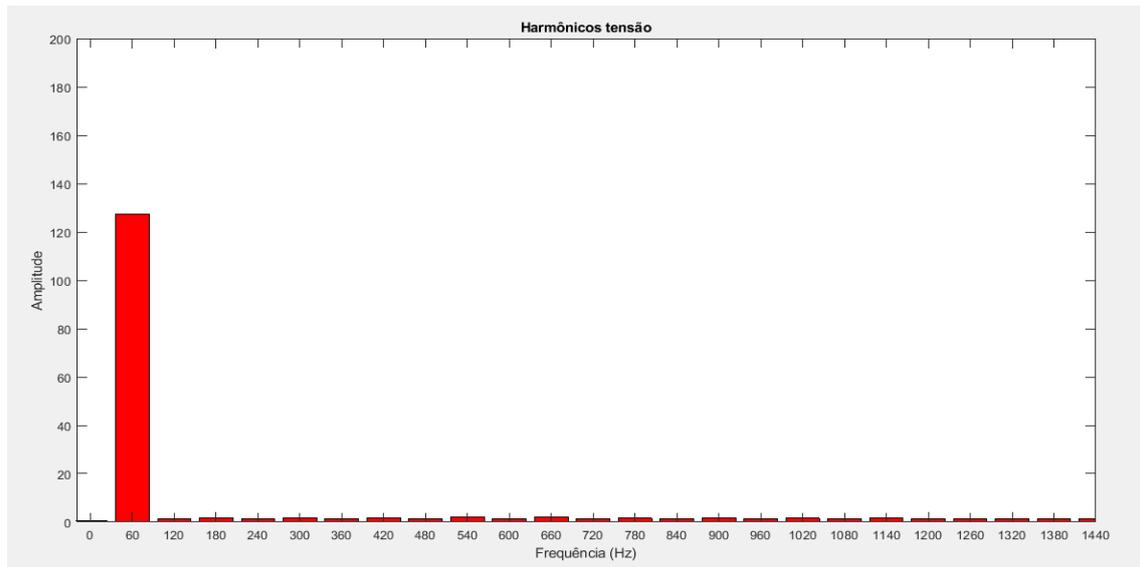
**Figura 46: Harmônicos de corrente aqisitados pela DAQ.**



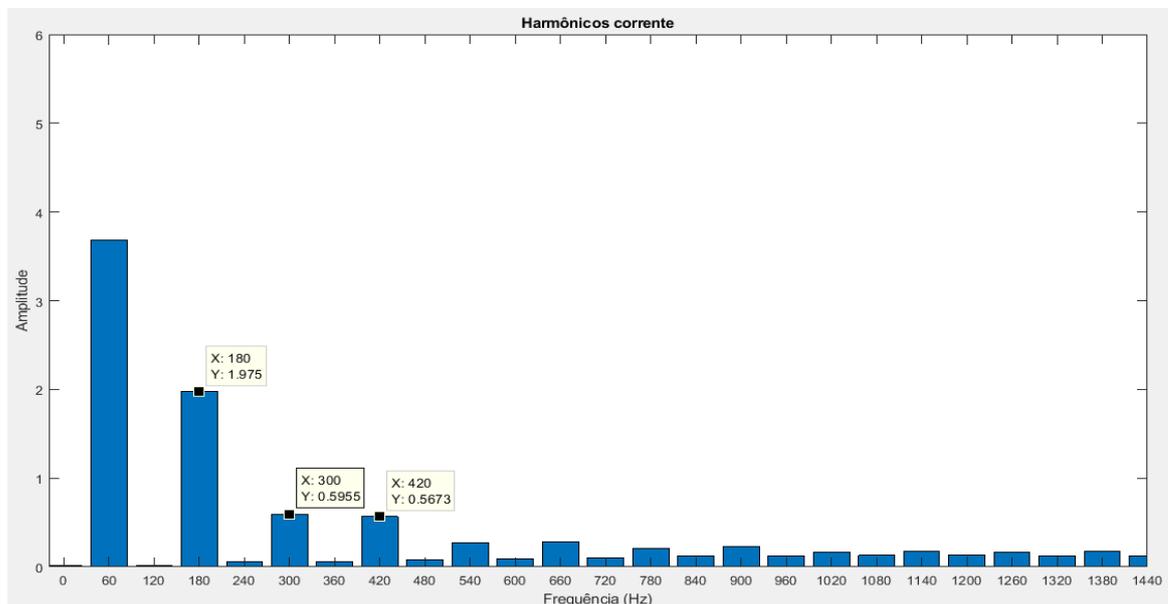
**Figura 47: Sinais de tensão e corrente aquisitados pelo osciloscópio**



**Figura 48: Harmônicos de tensão aquisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 49: Harmônicos de corrente aquisitados pelo osciloscópio.**



Na Tabela 9 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio para o sexto caso, respectivamente.

**Tabela 9: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo  $90^\circ$  (A3) e carga  $20,3\Omega$  (R3). (continua)**

	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	<b>3,3235</b>	<b>4,0236</b>	<b>126,7941</b>	<b>126,8494</b>
Osciloscópio	<b>3,3808</b>	<b>4,0722</b>	<b>127,9830</b>	<b>128,1341</b>
Aquisição				
Métodos	Grandezas		DAQ	Osciloscópio
Clássico	Potência Ativa (W)		<b>370,4029</b>	<b>375,8706</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>200,9394</b>	<b>214,3196</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>421,3964</b>	<b>432,6795</b>
	Fator de Potência		<b>0,8790</b>	<b>0,8687</b>
Budeanu	Potência Ativa (W)		<b>376,2864</b>	<b>378,2545</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>201,1347</b>	<b>212,1037</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>510,3897</b>	<b>521,7825</b>
	Potência de Distorção		<b>280,0911</b>	<b>290,1595</b>
	Fator de Potência		<b>0,7373</b>	<b>0,7249</b>
IEEE 1459 - 2010	Potência Ativa Fundamental (W)		<b>370,4029</b>	<b>375,8706</b>
	Potência Ativa Harmônica (W)		<b>5,8836</b>	<b>2,3840</b>
	Potência Ativa Total (W)		<b>376,2864</b>	<b>378,2545</b>
	Potência Reativa Fundamental (Var)		<b>200,9394</b>	<b>214,3196</b>
	Potência Aparente Fundamental (Va)		<b>421,3964</b>	<b>432,6795</b>
	Potência Aparente Harmônica (Va)		<b>8,4978</b>	<b>14,0480</b>
	Potência de Distorção de Corrente (Var)		<b>287,5661</b>	<b>290,5147</b>
	Potência de Distorção de Tensão (Var)		<b>12,4526</b>	<b>20,9225</b>
	Distorção Harmônica Total de Corrente (%)		<b>68,24</b>	<b>67,14</b>
	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)		<b>2,96</b>	<b>4,84</b>
	Potência de Distorção Harmônica (Var)		<b>6,1316</b>	<b>13,8443</b>
	Potência Aparente Não Fundamental (Va)		<b>287,9610</b>	<b>291,6058</b>
	Potência Aparente Total (Va)		<b>510,3885</b>	<b>521,7715</b>
	Potência Não Ativa (Var)		<b>344,8260</b>	<b>359,4009</b>
	Fator de Potência		<b>0,8790</b>	<b>0,8687</b>
Fator de Potência Verdadeiro		<b>0,7260</b>	<b>0,7212</b>	
Fator de Distorção		<b>0,8388</b>	<b>0,8345</b>	

## 5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Com o grande avanço de cargas não lineares interligadas na rede de energia elétrica, fica evidente que estudos sobre métodos de análise de potência estão ficando cada vez mais detalhados buscando resultados mais satisfatórios e coerentes. Embora, sabendo que uma teoria de potência devesse ser genérica para representar o sistema elétrico em qualquer situação, nota-se que as teorias de potências estão relacionadas para qual objetivo seus autores as desenvolveram e as disponibilidades tecnológicas para suas implementações.

Neste trabalho, foram abordadas as teorias de análise de potência: clássica, de Budeanu e IEEE 1459-2010. Com base nos resultados demonstrados é notável que o método clássico em comparação com os métodos de Budeanu e IEEE 1459 não possui resultados tão satisfatórios quando expostos as distorções harmônicas, pois o método clássico não contempla as correntes e tensões harmônicas em seus resultados.

Já em comparação com os métodos de Budeanu e IEEE 1459, pode-se notar que, apesar das cargas utilizadas em laboratório serem puramente resistivas, houveram medições de potências reativas devido a presença de harmônicos. Através das tabelas demonstradas nos resultados, a norma IEEE 1459 possibilita um diagnóstico mais detalhado dos resultados sobre as harmônicas e componentes fundamentais, onde também os resultados das potências reativas e de distorção possuem resultados diferentes em comparação com os dois métodos. Outro parâmetro notável foi que, com o aumento do ângulo de disparo da corrente, que ocasiona uma pior qualidade de energia elétrica simulando cargas não lineares, houve um aumento na potência reativa por causa das distorções harmônica, que por sua vez influencia na potência aparente e consequentemente no fator de potência verdadeiro.

Levando em consideração os resultados obtidos, é notável a influência das distorções harmônicas nos resultados das potências (reativa e aparente) e no fator de potência. É plausível que mais testes envolvendo outros tipos de carga e fontes harmônicas são necessários para uma maior validação dos conceitos.

Portanto, como visto no trabalho o método da IEEE se apresenta como mais adequado por separar os termos em componentes fundamentais e harmônicos. Mas, considerando que nos tempos de hoje, onde a maioria dos medidores de faturamento de energia elétrica no Brasil são eletromecânicos, como o trabalho não fez tal abordagem, fica questionável como esses medidores se comportariam na presença de harmônicos em seu sistema de faturamento de energia elétrica pois os mesmos não possuem tal tecnologia para compensar harmônicos podendo acarretar em tarifas equivocadas.

Como continuação do trabalho, sugere-se elaborar uma montagem laboratorial com medidores de tarifação comercial eletromecânico e eletrônicos e uso de fontes independentes para verificar o comportamento destes frente a sinais não senoidais.

APÊNDICE A – Algoritmo usado para análise dos métodos de potência clássica, de Budeanu e IEEE 1459-2010 através dos sinais de tensão e corrente adquiridos pela DAQ e osciloscópio Tektronix.

### % IMPLEMENTAÇÃO FFT

```
clc;
clear all;
close all;
```

### % Carregamento das aquisições

```
load teste_A2_R2_daq.txt; %carregamento do sinal
t=teste_A2_R2_daq(:,1);
v=teste_A2_R2_daq(:,2);
i=teste_A2_R2_daq(:,3);
ii=i;
v=v(1:1:end);
i=[ii(16:1:end); ii(1:1:15)];
t=t(1:1:end);
```

```
fs=1/(t(2)-t(1)); %frequencia de amostragem
janela=round(fs/60); % 1024 amostras
```

```
v=((v./sqrt(2)).*(1000+15000)/1000).*17.56; %Relação de tensao
i=((i./sqrt(2)).*2485)./27; % Relação de corrente
```

```
fc=4800;
```

```
[b,a] = butter(2,fc/(fs/2));
v2 = filter(b,a,v); %Filtro bbutterwoth
[b,a] = butter(2,fc/(fs/2));
i2 = filter(b,a,i);
```

```
v=v2;
i=i2;
```

```
figure;
subplot(2,1,1);
plot(t,v);
axis([0 inf -200 200]);
title('Tensão');
xlabel('Tempo');
ylabel('Amplitude');
subplot(2,1,2);
plot(t,i);
axis([0 inf -10 10]);
title('Corrente');
xlabel('Tempo');
ylabel('Amplitude');
```

```

%% % % % % % Transformada de Fourier % % % % % % %

for nn=1:janela
    fkv(nn)=0+0i;
    fki(nn)=0+0i;
    for k=1:janela
        fkv(nn)=fkv(nn)+v(k)*exp(-1i*2*pi*(k-1)*(nn-1)/janela);
        fki(nn)=fki(nn)+i(k)*exp(-1i*2*pi*(k-1)*(nn-1)/janela);
    end
    if nn==1
        A(nn)=real(fkv(nn))/janela; %parte real do sinal de tensao
        B(nn)=imag(fkv(nn))/janela; %parte imaginaria do sinal de corrente
        C(nn)=(A(nn)^2+B(nn)^2)^0.5; %modulo do sinal de tensao

        D(nn)=real(fki(nn))/janela; %parte real do sinal de corrente
        E(nn)=imag(fki(nn))/janela; %parte imaginaria do sinal de corrente
        F(nn)=(D(nn)^2+E(nn)^2)^0.5; %modulo do sinal de corrente
    else
        A(nn)=2*real(fkv(nn))/janela;
        B(nn)=2*imag(fkv(nn))/janela;
        C(nn)=(A(nn)^2+B(nn)^2)^0.5;

        D(nn)=2*real(fki(nn))/janela;
        E(nn)=2*imag(fki(nn))/janela;
        F(nn)=(D(nn)^2+E(nn)^2)^0.5; %modulo do sinal da corrente
    end

end

C=C(1:25);
F=F(1:25);

ANGV=((atan2(B,A))*180/pi); % Angulo em graus do sinal de tensao
ANGI=((atan2(E,D))*180/pi); % Angulo em graus do sinal de corrente

ANGV=ANGV(1:25);
ANGI=ANGI(1:25);
ANGV(2)=ANGV(2)+0.342; %Incremento da defasagem do filtro na fundamental
ANGI(2)=ANGI(2)+0.342;

defimpar=[1.03 1.71 2.39 3.08 3.76 4.45 5.13 5.81 6.49 7.18 7.86]; % Defasagens das
harmonicas h3,h5,h7...

ii=1;
for i=4:2:24

    ANGV(i)=ANGV(i)+defimpar(ii); % acrescimo das defagens da corrente
    ANGI(i)=ANGI(i)+defimpar(ii); % acrescimo das defagens da tensao
    ii=ii+1;

end

```

```

freq=(0:60:1500-1);
figure;
bar(freq,C,'r');
xlabel('Frequência (Hz)');
ylabel('Amplitude');
title('Harmônicos tensão');
axis([-20 max(freq) 0 200]);
ticks=freq;
set(gca,'XTick',ticks);
figure;
bar(freq,F);
title('Harmônicos corrente');
xlabel('Frequência (Hz)');
ylabel('Amplitude');
axis([-20 max(freq) 0 6]);
ticks=freq;
set(gca,'XTick',ticks);

```

```

%%%%%%%%%% Calculos %%%%%%%%%%%

```

```

% Classico

```

```

Vrms_classico=(C(2));
Irms_classico=(F(2));
S_classico=Vrms_classico*Irms_classico
P_classico=S_classico*cosd(ANGV(2)-ANGI(2))
Q_classico=S_classico*sind(ANGV(2)-ANGI(2))
FP_classico=P_classico/S_classico

```

```

% BUDEANU

```

```

Vrms=sqrt(sum(C.^2));
Irms=sqrt(sum(F.^2));
S=Vrms*Irms
P=sum((C).*(F).*cosd(ANGV-ANGI))
Q=sum((C).*(F).*sind(ANGV-ANGI))
DB=sqrt(S^2-P^2-Q^2) % Potencia de distorção
FP=P/S

```

```

% IEEE 1459-2010

```

```

P1=(C(2))*(F(2))*cosd(ANGV(2)-ANGI(2)) % Potencia ativa fundamental
Ph=P-P1 %Potencia ativa harmonica
Pieee=P1+Ph %Potencia ativa total
Q1=(C(2))*(F(2))*sind(ANGV(2)-ANGI(2)) % Potencia reativa fundamental
S1=sqrt(P1^2+Q1^2) % Potencia aparente fundamental
Sh=sqrt(sum((C(3:end)).^2))*sqrt(sum((F(3:end)).^2)) % Potencia aparente harmonica
Di=(C(2))*sqrt(sum((F(3:end)).^2))% Potencia de distorção de corrente
Dv=(F(2))*sqrt(sum((C(3:end)).^2))% Potencia de distorção de tensao
DHTi=Di/S1 % Distorção harmonica total de corrente
DHTv=Dv/S1 % Distorção harmonica total de tensao
Dh=sqrt(Sh^2-Ph^2) % Potencia de distorção harmonica

```

$S_n = \sqrt{D_i^2 + D_v^2 + S_h^2}$  % Potencia aparente nao fundamental  
 $S_{ieee} = \sqrt{S_1^2 + S_n^2}$  % Potencia aparente total  
 $N = \sqrt{S_{ieee}^2 - P_{ieee}^2}$  % Potencia nao ativa  
 $FP_{ieee} = P_{ieee} / S_{ieee}$  % Fator de potencia  
 $FP_1 = P_1 / S_1$  % Fator de potencia fundamental ou de deslocamento  
 $FP_{verd} = (P_1 + P_h) / \sqrt{S_1^2 + S_n^2}$  % Fator de potencia verdadeiro  
 $FP_{ver} = (1 / \sqrt{1 + DHT_i^2}) * FP_1$  % Quando  $DHT_v < 5\%$  e  $DHT_i > 40\%$   
 $FD = FP_{verd} / FP_1$  % Fator de distorção

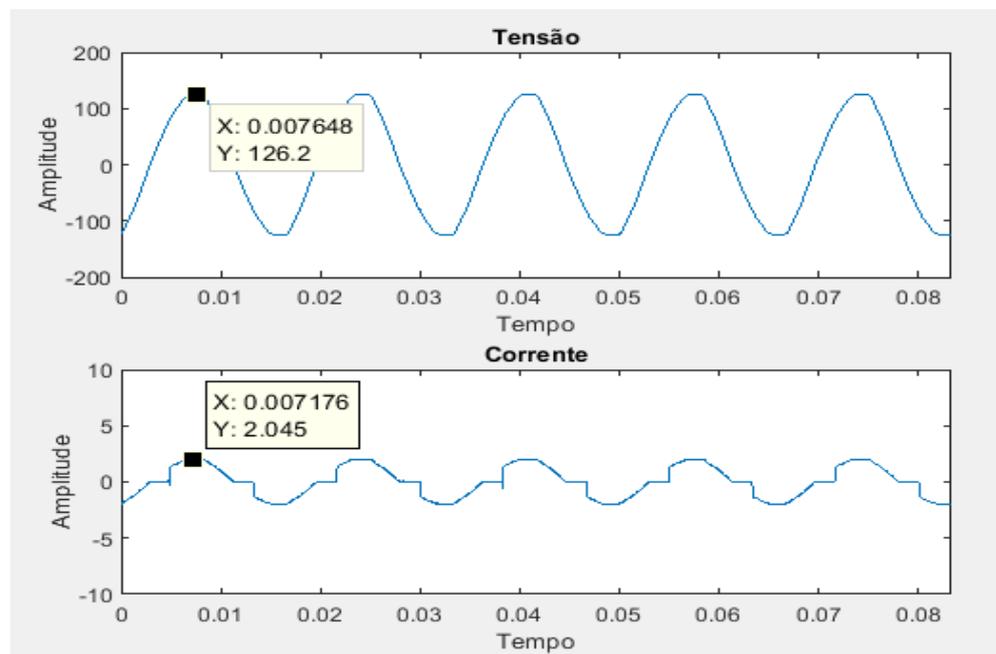
APENDICE B – Resultados obtidos pela DAQ e osciloscópio com ângulos de disparo  $45^\circ$ (A1) e  $330^\circ$ (A4).

Neste apêndice está apresentado os resultados dos métodos de análise de potência como forma de incremento de resultados com os ângulos de disparo  $45^\circ$  (A1) e  $330^\circ$  (A4) que foi citado no tópico dos resultados.

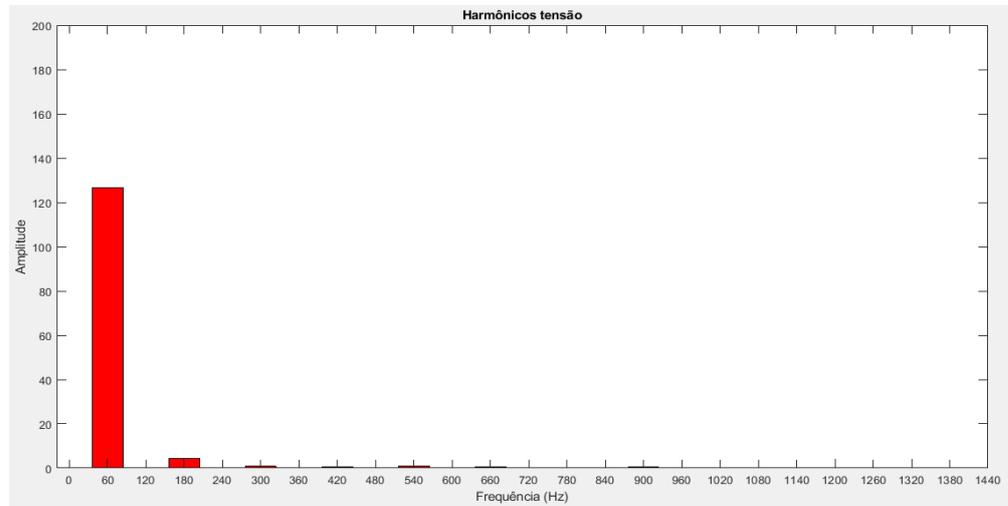
Portanto, será apresentado a seguir os resultados dos casos com ângulos de disparo A1 e A4, respectivamente.

Sétimo caso: Nas Figuras 50, 51 e 52 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram aquiritados através da DAQ. Nas Figuras 53, 54 e 55 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram aquiritados através do osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo  $45^\circ$  (A1) e carga  $61\Omega$  (R1).

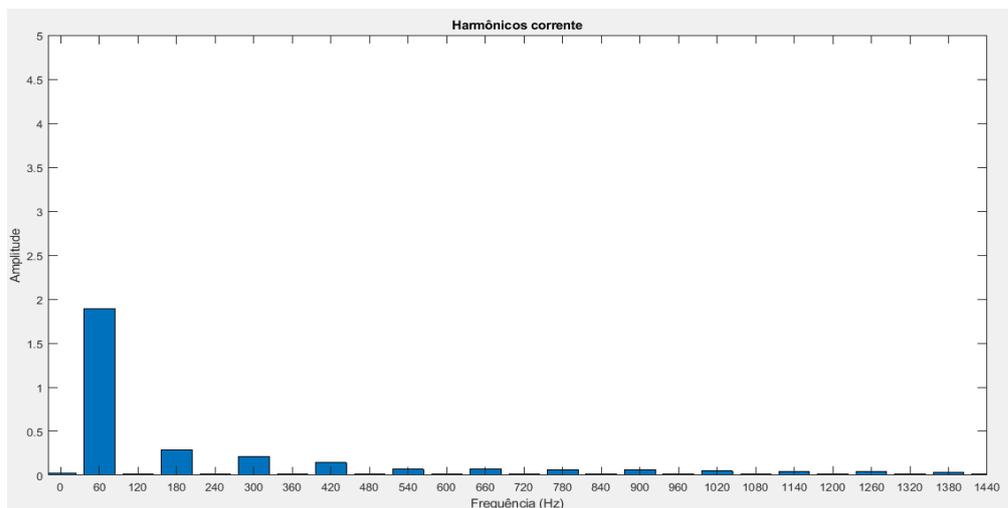
**Figura 50: Sinal de tensão e corrente aquiritados pela DAQ.**



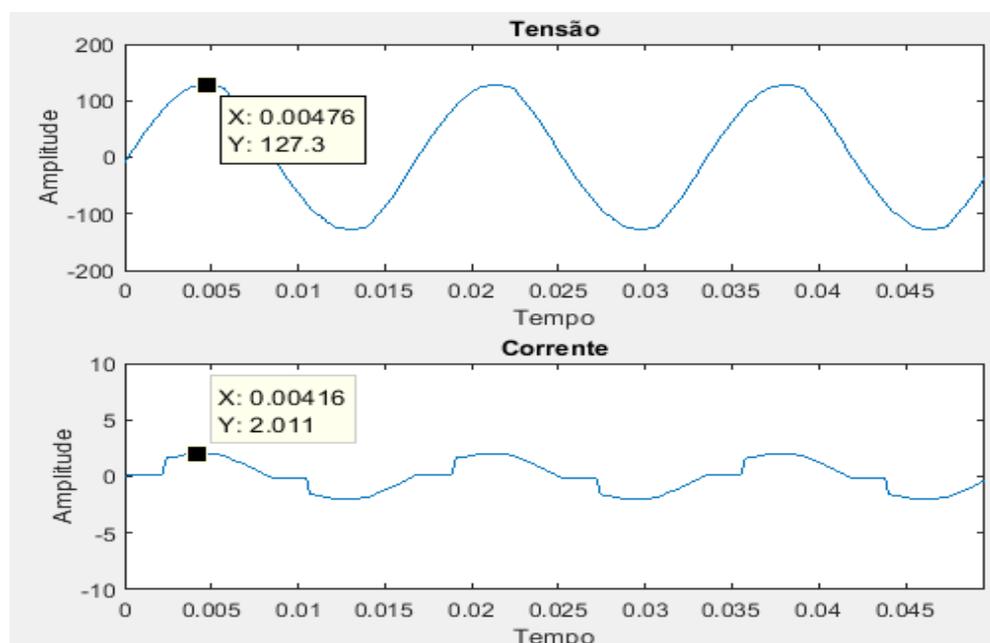
**Figura 51: Harmônicos no sinal de tensão adquiridos pela DAQ.**



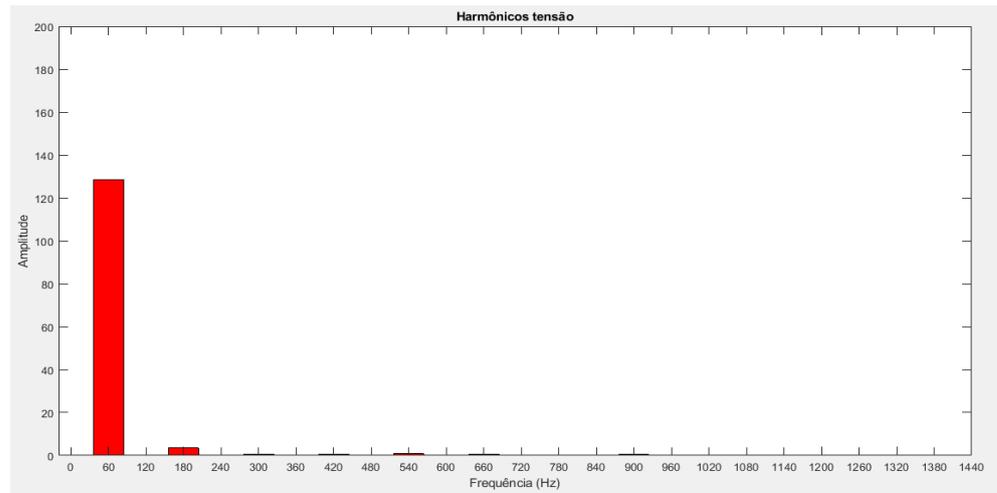
**Figura 52: Harmônicos no sinal de corrente adquiridos pela DAQ.**



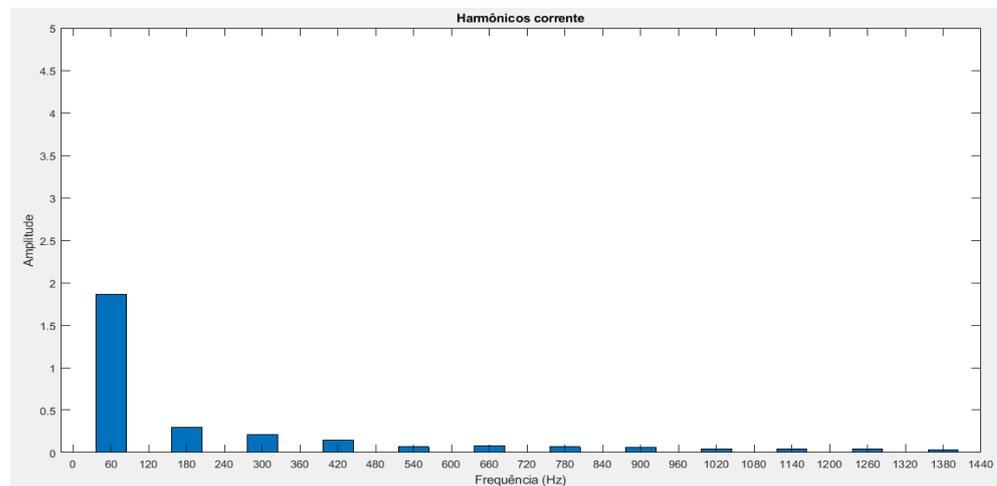
**Figura 53: Sinal de tensão e corrente adquiridos pelo osciloscópio.**



**Figura 54: Harmônicos no sinal de tensão aqisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 55: Harmônicos no sinal de corrente aqisitados pelo osciloscópio.**



Na Tabela 10 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais aqisitados pela DAQ e osciloscópio para o sétimo caso, respectivamente.

**Tabela 10: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqisitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo  $45^\circ$  (A1) e carga  $61\Omega$  (R1). (continua)**

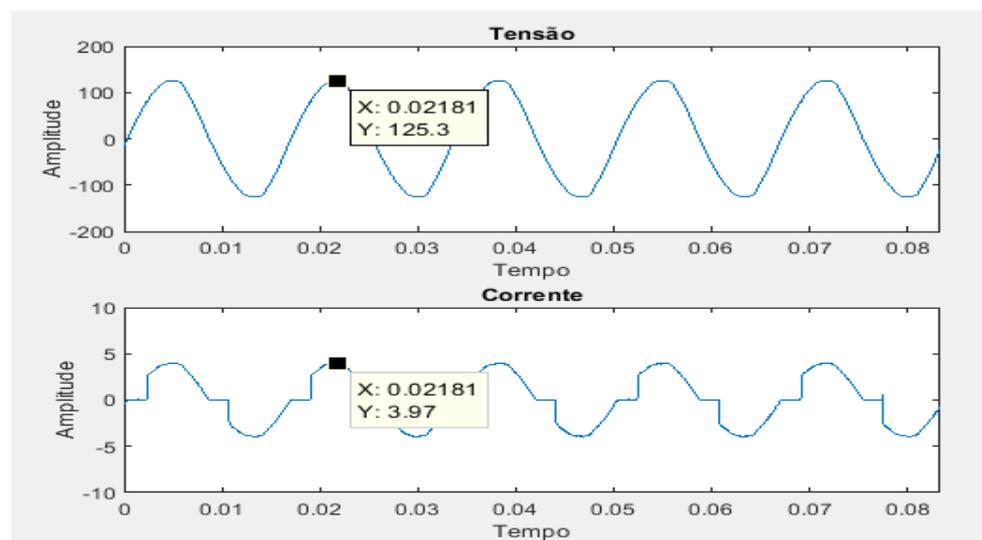
	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	<b>1,8910</b>	<b>1,9363</b>	<b>126,7328</b>	<b>126,8176</b>
Osciloscópio	<b>1,8565</b>	<b>1,9049</b>	<b>128,1443</b>	<b>128,2170</b>
Aquisição				
Métodos	Grandezas		DAQ	Osciloscópio
Clássico	Potência Ativa (W)		<b>239,2547</b>	<b>237,5593</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>13,71111</b>	<b>12,7044</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>239,6473</b>	<b>237,8998</b>
	Fator de Potência		<b>0,9984</b>	<b>0,9986</b>
Budeanu	Potência Ativa (W)		<b>239,3108</b>	<b>238,0947</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>12,4794</b>	<b>11,9165</b>

**Tabela 10: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo  $45^\circ$  (A1) e carga  $61\Omega$  (R1). (conclusão)**

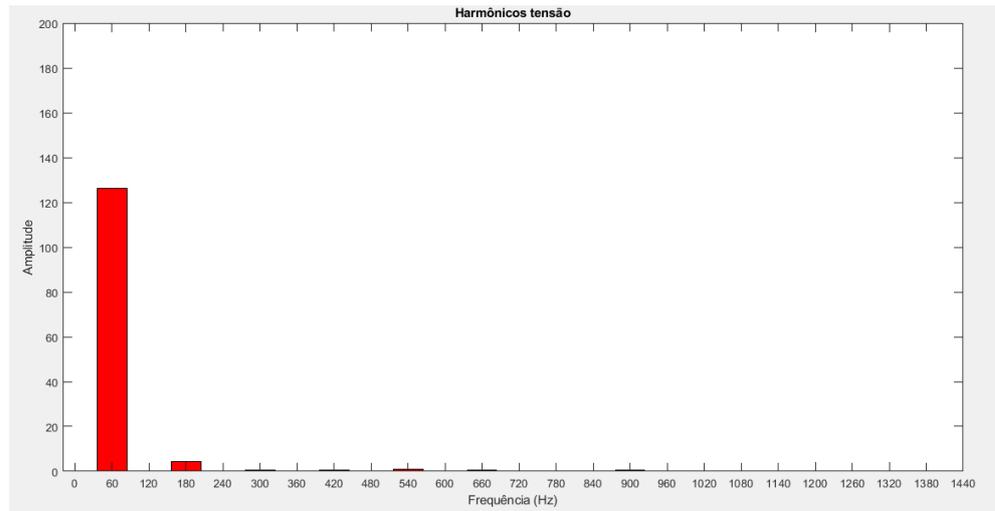
Métodos	Grandezas	DAQ	Osciloscópio
Budeanu	Potência Aparente (Va)	245,5589	244,2373
	Potência de Distorção	53,6073	53,1107
	Fator de Potência	0,9746	0,9749
IEEE 1459 - 2010	Potência Ativa Fundamental (W)	239,2547	237,5593
	Potência Ativa Harmônica (W)	0,0561	0,5354
	Potência Ativa Total (W)	239,3108	238,0947
	Potência Reativa Fundamental (Var)	13,7111	12,7044
	Potência Aparente Fundamental (Va)	239,6473	237,8988
	Potência Aparente Harmônica (Va)	1,9229	1,8399
	Potência de Distorção de Corrente (Var)	52,6879	54,6604
	Potência de Distorção de Tensão (Var)	8,7462	8,0079
	Distorção Harmônica Total de Corrente (%)	21,99	22,98
	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)	3,65	3,37
	Potência de Distorção Harmônica (Var)	1,9221	1,7603
	Potência Aparente Não Fundamental (Va)	53,4435	55,2745
	Potência Aparente Total (Va)	245,5342	244,2358
	Potência Não Ativa (Var)	54,9304	54,4243
	Fator de Potência	0,9984	0,9986
Fator de Potência Verdadeiro	0,9751	0,9732	
Fator de Distorção	0,9763	0,9762	

Oitavo caso: Nas Figuras 56, 57 e 58 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através da DAQ. Nas Figuras 59, 60 e 61 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através do osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo  $45^\circ$  (A1) e carga  $30,5\Omega$  (R2).

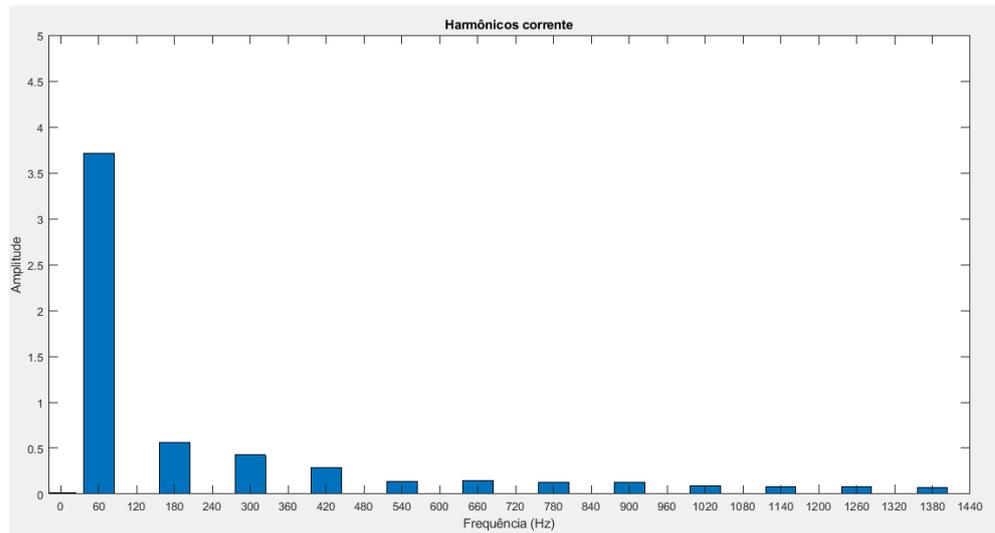
**Figura 56: Sinal de tensão e corrente adquiridos pela DAQ.**



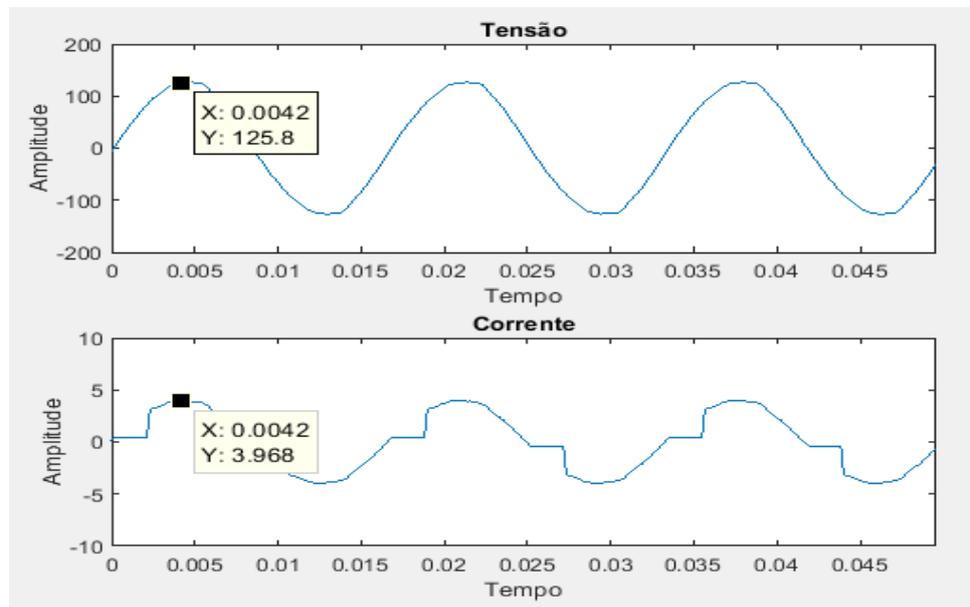
**Figura 57: Harmônicos no sinal de corrente aqisitados pela DAQ.**



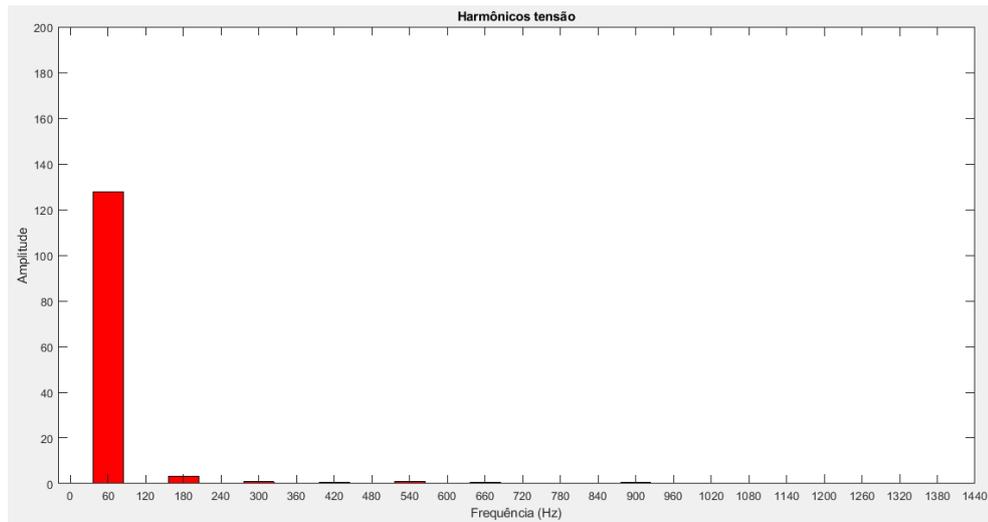
**Figura 58: Harmônicos no sinal de corrente aqisitados pela DAQ.**



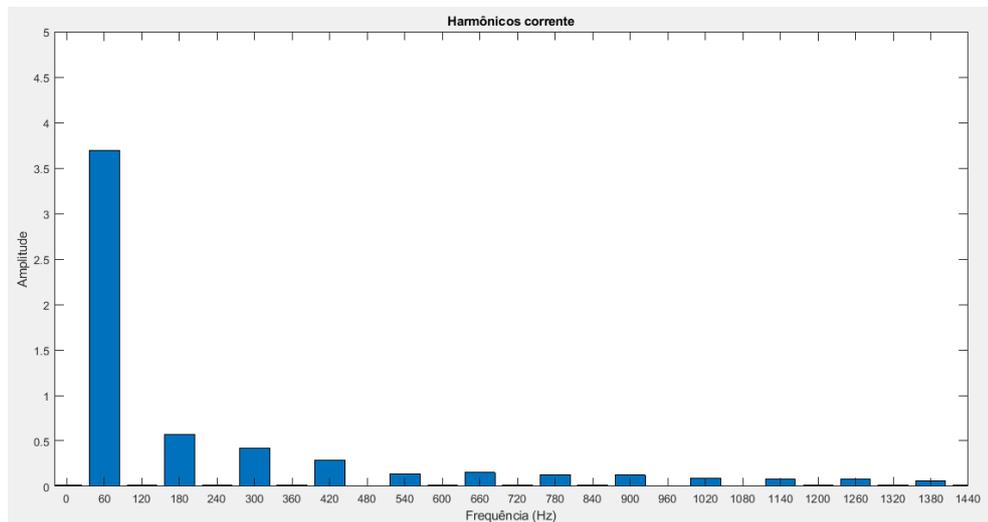
**Figura 59: Sinal de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 60: Harmônicos no sinal de tensão aquisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 61: Harmônicos no sinal de corrente aquisitados pelo osciloscópio.**



Na Tabela 11 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais aquisitados pela DAQ e osciloscópio para o oitavo caso, respectivamente.

**Tabela 11: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aquisitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 45° (A1) e carga 30,5Ω (R2). (continua)**

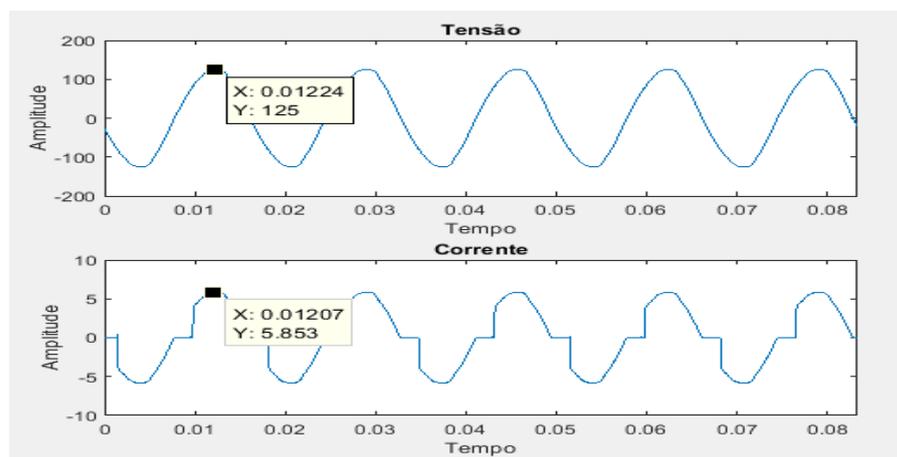
	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	<b>3,7139</b>	<b>3,8048</b>	<b>126,3396</b>	<b>126,4230</b>
Osciloscópio	<b>3,6795</b>	<b>3,7756</b>	<b>127,1598</b>	<b>127,2375</b>
<b>Aquisição</b>				
Métodos	Grandezas		DAQ	Osciloscópio
Clássico	Potência Ativa (W)		<b>468,4559</b>	<b>466,9301</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>26,6112</b>	<b>29,8062</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>469,2111</b>	<b>467,8804</b>
	Fator de Potência		<b>0,9984</b>	<b>0,9980</b>

**Tabela 11: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aquisitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 45° (A1) e carga 30,5Ω (R2). (conclusão)**

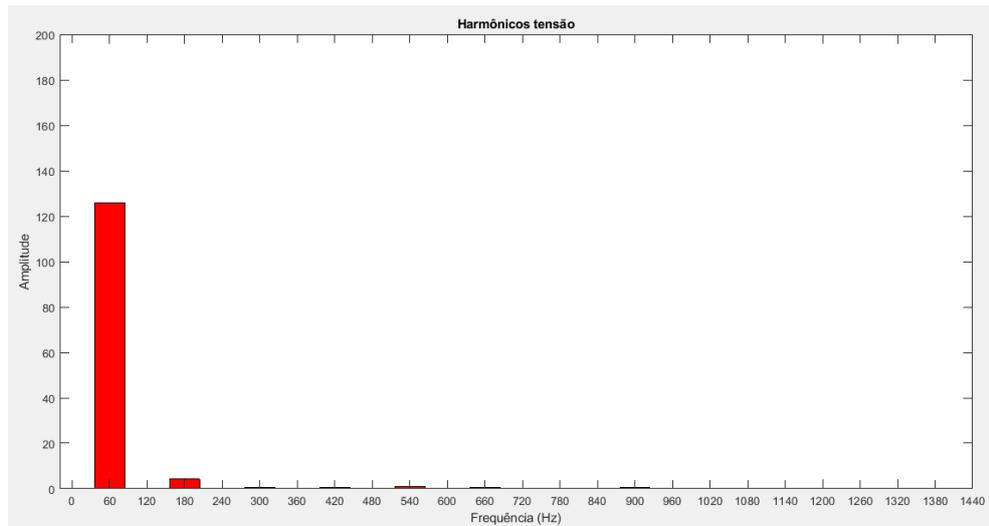
Métodos	Grandezas	DAQ	Osciloscópio
Budeanu	Potência Ativa (W)	468,2886	467,9239
	Potência Reativa (Var)	24,2324	28,1017
	Potência Aparente (Va)	481,009	480,3975
	Potência de Distorção	107,1834	105,0675
	Fator de Potência	0,9736	0,9740
IEEE 1459 - 2010	Potência Ativa Fundamental (W)	468,4559	466,9301
	Potência Ativa Harmônica (W)	-0,1673	0,9939
	Potência Ativa Total (W)	468,2886	467,9239
	Potência Reativa Fundamental (Var)	26,6112	29,8062
	Potência Aparente Fundamental (Va)	469,2111	467,8804
	Potência Aparente Harmônica (Va)	3,7926	3,7612
	Potência de Distorção de Corrente (Var)	104,4067	107,6374
	Potência de Distorção de Tensão (Var)	17,0444	16,3492
	Distorção Harmônica Total de Corrente (%)	22,25	23,01
	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)	3,63	3,49
	Potência de Distorção Harmônica (Var)	3,7890	3,6275
	Potência Aparente Não Fundamental (Va)	105,8567	108,9369
	Potência Aparente Total (Va)	481,0039	480,3950
	Potência Não Ativa (Var)	109,8660	108,7498
	Fator de Potência	0,9984	0,9980
Fator de Potência Verdadeiro	0,9746	0,9726	
Fator de Distorção	0,9751	0,9760	

Nono caso: Nas Figuras 62, 63 e 64 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram aquisitados através da DAQ. Nas Figuras 65, 66 e 67 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram aquisitados através do osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo 45° (A1) e carga 20,3Ω (R3).

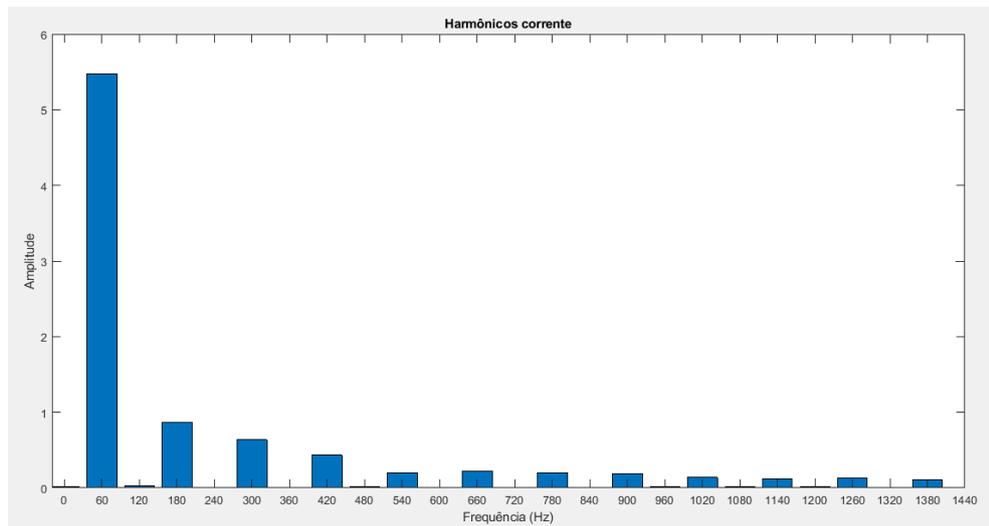
**Figura 62: Sinal de tensão e corrente aquisitados pela DAQ.**



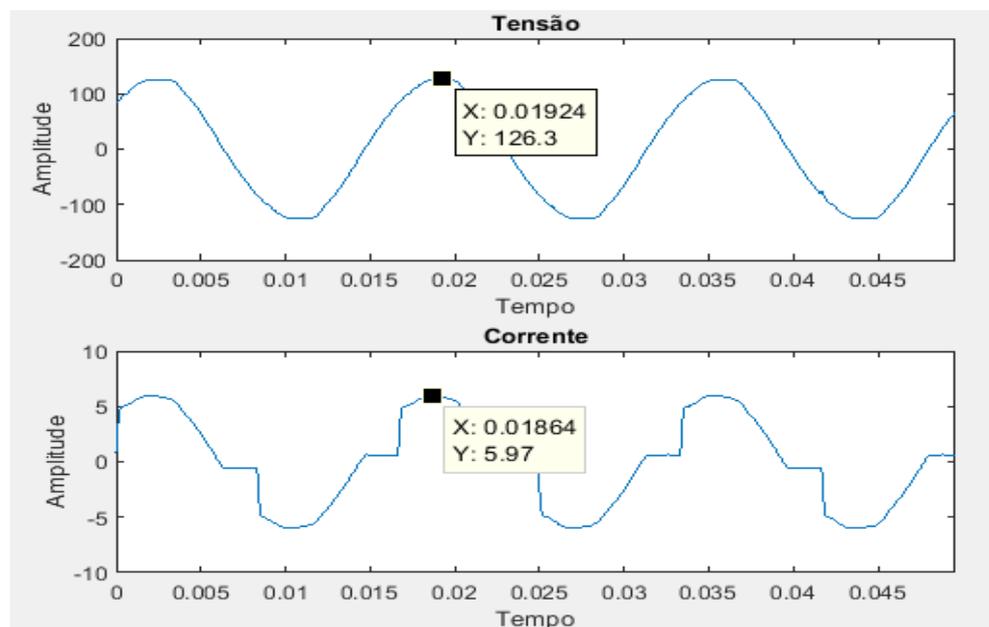
**Figura 63: Harmônicos no sinal de corrente aqisitados pela DAQ.**



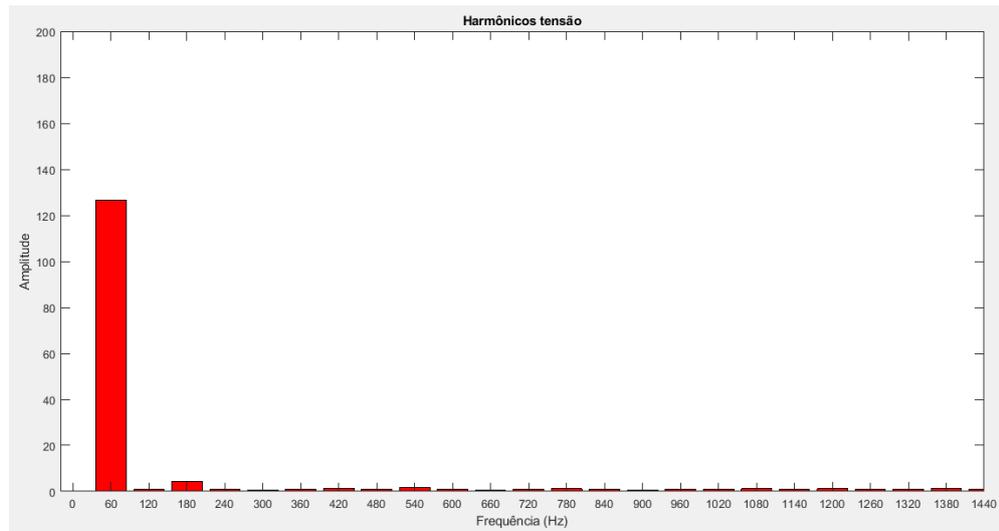
**Figura 64: Harmônicos no sinal de corrente aqisitados pela DAQ.**



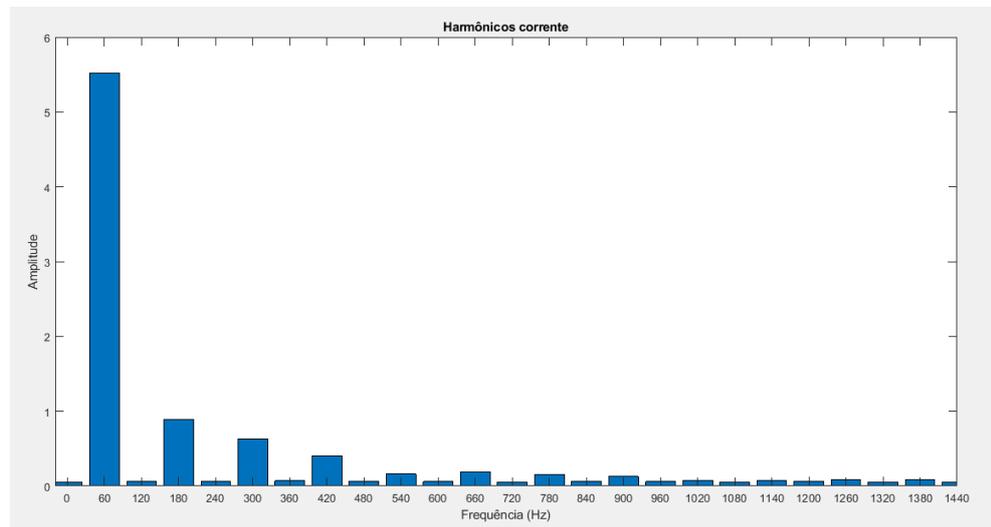
**Figura 65: Sinal de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 66: Harmônicos no sinal de tensão aquisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 67: Harmônicos no sinal de corrente aquisitados pelo osciloscópio.**



Na Tabela 12 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais aquisitados pela DAQ e osciloscópio para o primeiro caso, respectivamente.

**Tabela 12: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aquisitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 45° (A1) e carga 20,3Ω (R3). (continua)**

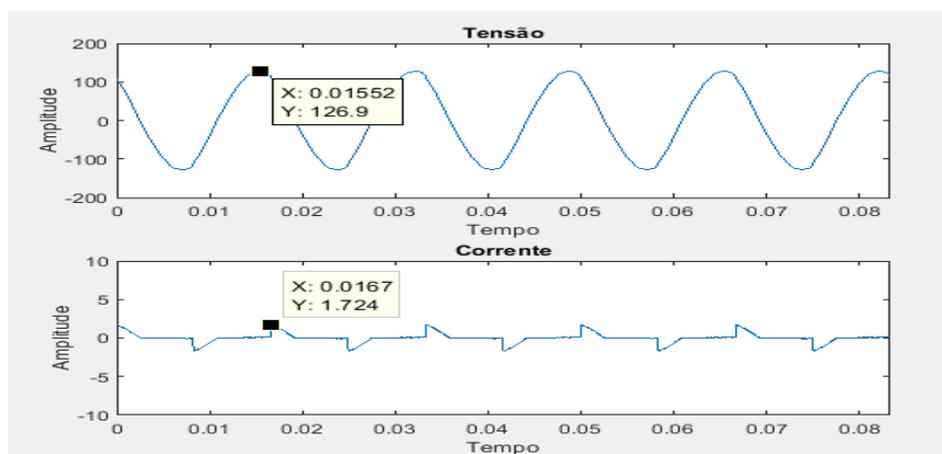
	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	5,4706	5,6118	125,7988	125,8770
Osciloscópio	5,5528	5,6883	126,6826	126,8589
<b>Aquisição</b>				
Métodos	Grandezas		DAQ	Osciloscópio
Clássico	Potência Ativa (W)		686,9284	702,6879
	Potência Reativa (Var)		41,6645	33,6286
	Potência Aparente (Va)		688,1908	703,4921
	Fator de Potência		0,9982	0,9989

**Tabela 12: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aquisitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo  $45^\circ$  (A1) e carga  $20,3\Omega$  (R3). (conclusão)**

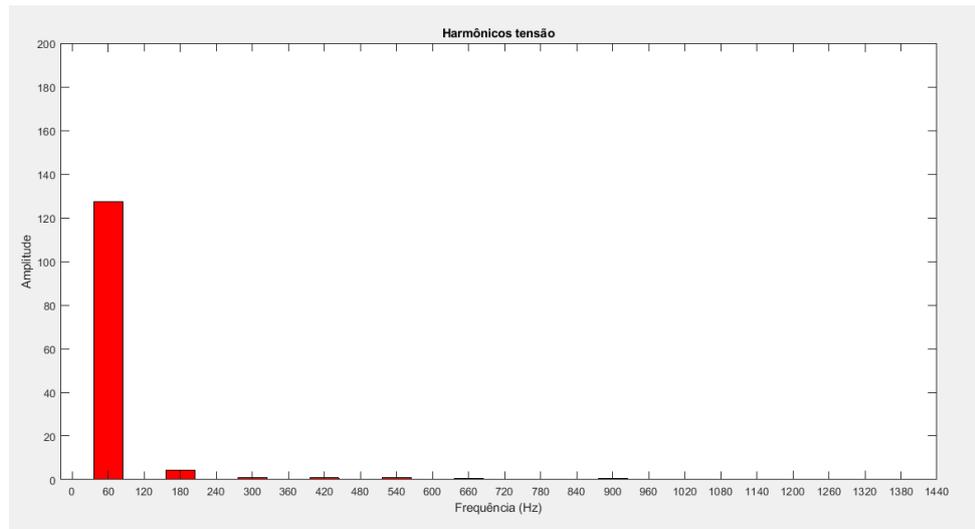
Métodos	Grandezas	DAQ	Osciloscópio
Budeanu	Potência Ativa (W)	686,4510	702,8971
	Potência Reativa (Var)	38,2135	29,3801
	Potência Aparente (Va)	706,3969	721,6178
	Potência de Distorção	162,2383	160,6374
	Fator de Potência	0,9718	0,9741
IEEE 1459 - 2010	Potência Ativa Fundamental (W)	686,9284	702,6879
	Potência Ativa Harmônica (W)	-0,4774	0,2092
	Potência Ativa Total (W)	686,4510	702,8971
	Potência Reativa Fundamental (Var)	41,6645	33,6286
	Potência Aparente Fundamental (Va)	688,1908	703,4921
	Potência Aparente Harmônica (Va)	5,5487	7,9932
	Potência de Distorção de Corrente (Var)	157,3771	156,4160
	Potência de Distorção de Tensão (Var)	24,2637	35,9499
	Distorção Harmônica Total de Corrente (%)	22,87	22,23
	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)	3,53	5,11
	Potência de Distorção Harmônica (Var)	5,5281	7,9904
	Potência Aparente Não Fundamental (Va)	159,3332	160,6930
	Potência Aparente Total (Va)	706,3948	721,6117
	Potência Não Ativa (Var)	166,6694	163,2761
	Fator de Potência	0,9982	0,9989
Fator de Potência Verdadeiro	0,9730	0,9741	
Fator de Distorção	0,9736	0,9752	

Decimo caso: Nas Figuras 68, 69 e 70 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram aquisitados através da DAQ. Nas Figuras 71, 72 e 73 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram aquisitados através do osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo  $330^\circ$  (A4) e carga  $61\Omega$  (R1).

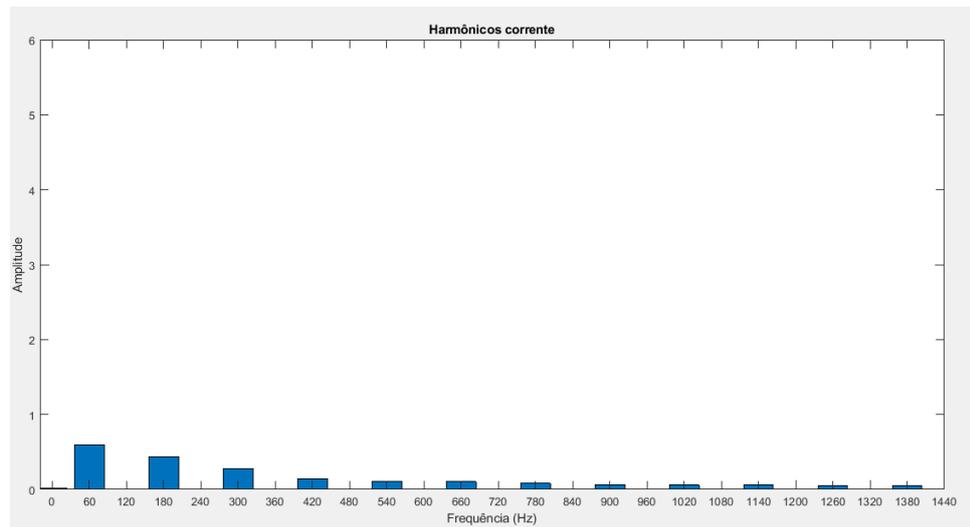
**Figura 68: Sinal de tensão e corrente aquisitados pela DAQ.**



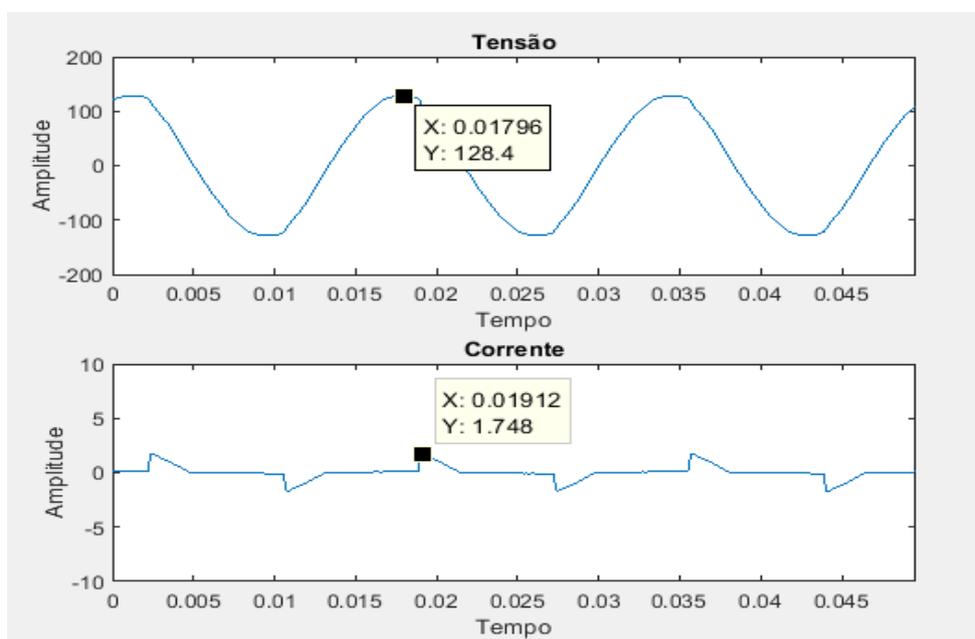
**Figura 69: Harmônicos no sinal de corrente aqisitados pela DAQ.**



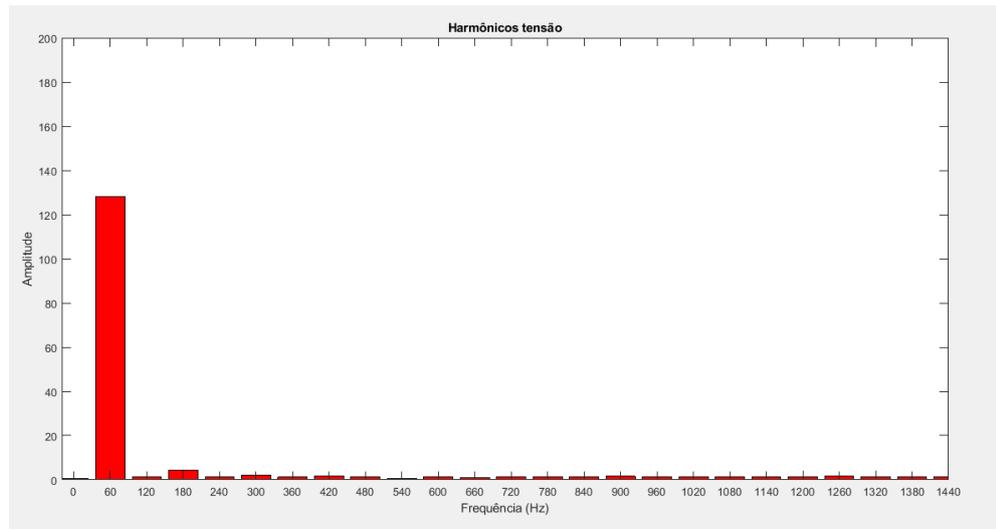
**Figura 70: Harmônicos no sinal de corrente aqisitados pela DAQ.**



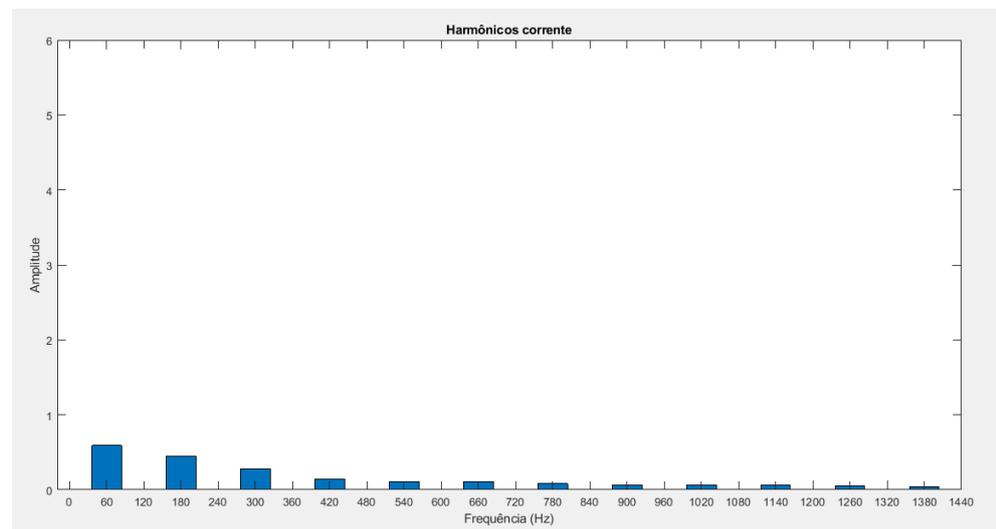
**Figura 71: Sinal de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 72: Harmônicos no sinal de tensão aquisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 73: Harmônicos no sinal de corrente aquisitados pelo osciloscópio.**



Na Tabela 13 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais aquisitados pela DAQ e osciloscópio para o decimo caso, respectivamente.

**Tabela 13: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aquisitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo  $330^\circ$  (A4) e carga  $61\Omega$  (R1). (continua)**

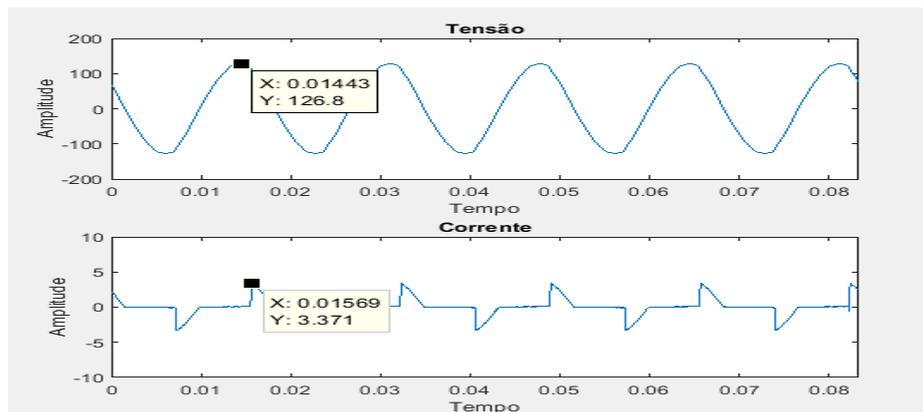
	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	<b>0,5954</b>	<b>0,8283</b>	<b>127,3579</b>	<b>127,4454</b>
Osciloscópio	<b>0,5775</b>	<b>0,8216</b>	<b>128,6462</b>	<b>128,8433</b>
Aquisição				
Métodos	Grandezas		DAQ	Osciloscópio
Clássico	Potência Ativa (W)		<b>55,1777</b>	<b>55,6045</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>52,0191</b>	<b>49,2749</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>75,8325</b>	<b>74,2959</b>

**Tabela 13: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aquisitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo  $330^\circ$  (A4) e carga  $61\Omega$  (R1). (conclusão)**

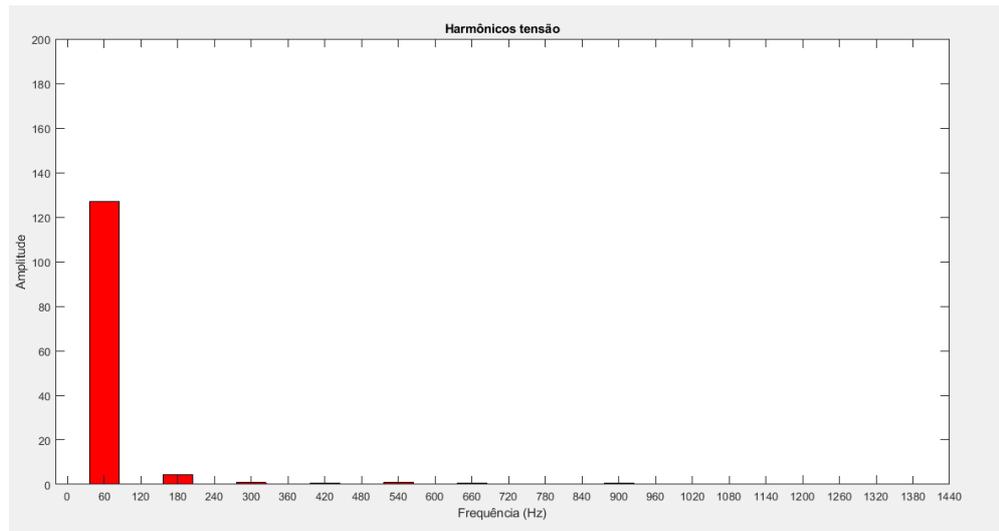
Métodos	Grandezas	DAQ	Osciloscópio
Clássico	Fator de Potência	0,7276	0,7484
	Potência Ativa (W)	56,1495	56,6370
	Potência Reativa (Var)	54,1955	51,1231
Budeanu	Potência Aparente (Va)	105,5636	105,8525
	Potência de Distorção	71,0898	73,3719
	Fator de Potência	0,5319	0,5351
IEEE 1459 - 2010	Potência Ativa Fundamental (W)	55,1777	55,6045
	Potência Ativa Harmônica (W)	0,9717	1,0324
	Potência Ativa Total (W)	56,1495	56,6370
	Potência Reativa Fundamental (Var)	52,0191	49,2749
	Potência Aparente Fundamental (Va)	75,8325	74,2959
	Potência Aparente Harmônica (Va)	2,7172	4,1455
	Potência de Distorção de Corrente (Var)	73,3097	75,1625
	Potência de Distorção de Tensão (Var)	2,8107	4,0977
	Distorção Harmônica Total de Corrente (%)	96,67	101,17
	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)	3,71	5,52
	Potência de Distorção Harmônica (Var)	2,5375	4,0149
	Potência Aparente Não Fundamental (Va)	73,4139	75,3881
	Potência Aparente Total (Va)	105,5470	105,8454
	Potência Não Ativa (Var)	89,3723	89,4176
	Fator de Potência	0,7276	0,7484
Fator de Potência Verdadeiro	0,5231	0,5351	
Fator de Distorção	0,7311	0,7150	

Decimo primeiro caso: Nas Figuras 74, 75 e 76 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram aquisitados através da DAQ. Nas Figuras 77, 78 e 79 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram aquisitados através do osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo  $330^\circ$  (A4) e carga  $30,5\Omega$  (R2).

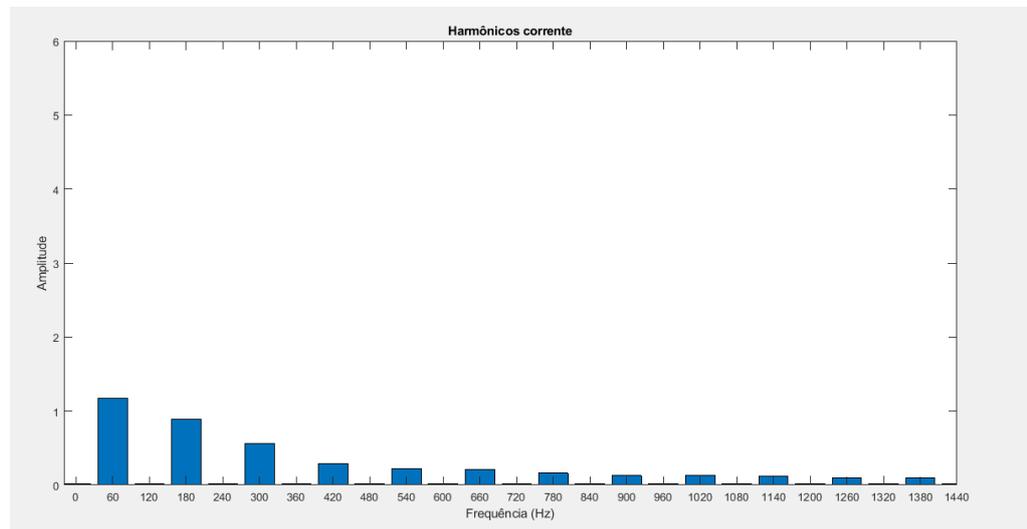
**Figura 74: Sinal de tensão e corrente aquisitados pela DAQ.**



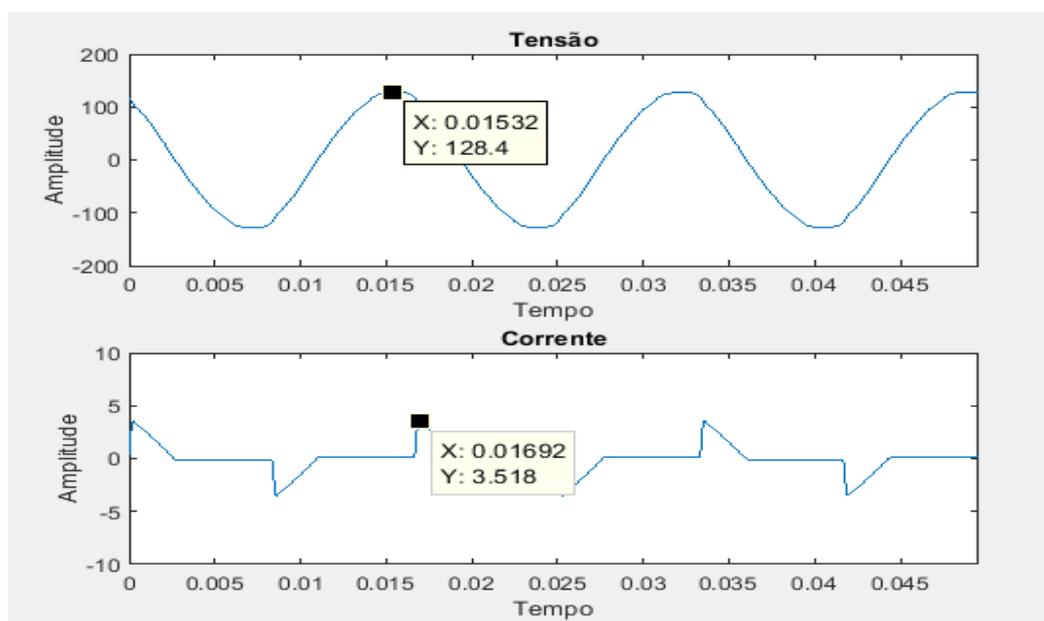
**Figura 75: Harmônicos no sinal de corrente aqisitados pela DAQ.**



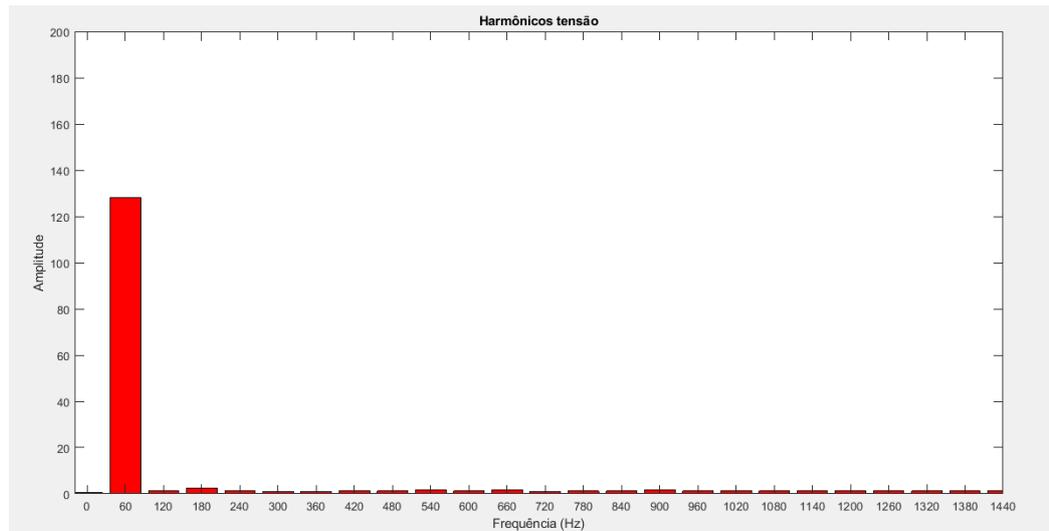
**Figura 76: Harmônicos no sinal de corrente aqisitados pela DAQ.**



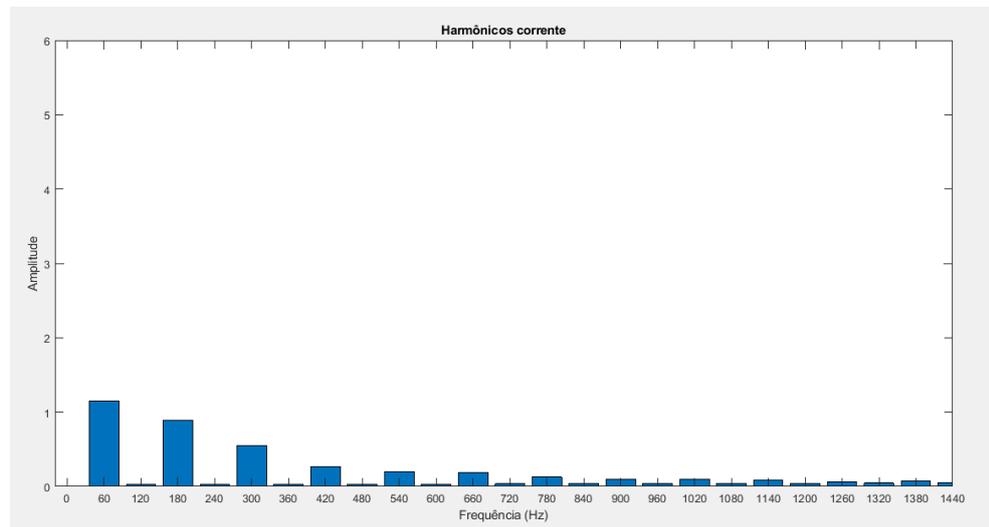
**Figura 77: Sinal de tensão e corrente aqisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 78: Harmônicos no sinal de tensão aqisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 79: Harmônicos no sinal de corrente aqisitados pelo osciloscópio.**



Na Tabela 14 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais aqisitados pela DAQ e osciloscópio para o decimo primeiro caso, respectivamente.

**Tabela 14: Resultados dos métodos de analises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais aqisitados pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 330° (A4) e carga 30,5Ω (R2). (continua)**

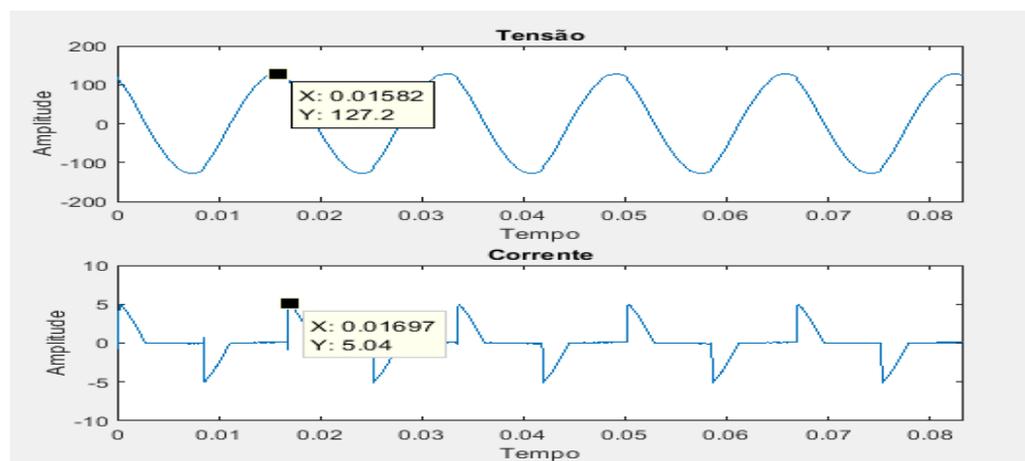
	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	<b>1,1748</b>	<b>1,6629</b>	<b>127,1160</b>	<b>127,1984</b>
Osciloscópio	<b>1,1847</b>	<b>1,67</b>	<b>128,4817</b>	<b>128,5991</b>
Aquisição				
Métodos	Grandezas		DAQ	Osciloscópio
Clássico	Potência Ativa (W)		<b>107,3493</b>	<b>107,9234</b>
	Potência Reativa (Var)		<b>103,8182</b>	<b>107,3383</b>
	Potência Aparente (Va)		<b>149,3389</b>	<b>152,2136</b>
	Fator de Potência		<b>0,7188</b>	<b>0,7090</b>

**Tabela 14: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo  $330^\circ$  (A4) e carga  $30,5\Omega$  (R2). (conclusão)**

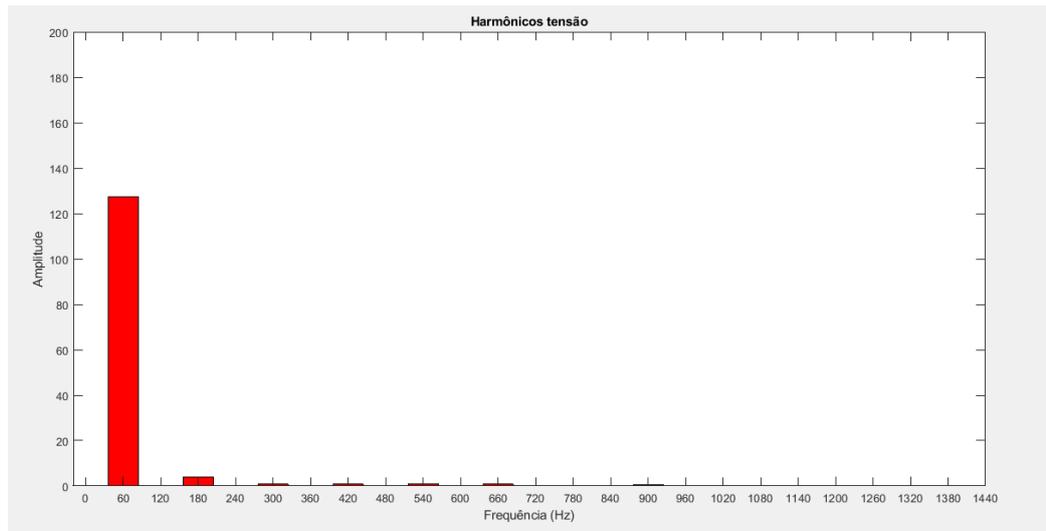
Métodos	Grandezas	DAQ	Osciloscópio
Budeanu	Potência Ativa (W)	109,3470	106,9377
	Potência Reativa (Var)	108,1148	109,7493
	Potência Aparente (Va)	211,5139	214,7631
	Potência de Distorção	145,2327	150,4746
	Fator de Potência	0,5170	0,4979
IEEE 1459 - 2010	Potência Ativa Fundamental (W)	107,3493	107,9234
	Potência Ativa Harmônica (W)	1,9977	-0,9857
	Potência Ativa Total (W)	109,3470	106,9377
	Potência Reativa Fundamental (Var)	103,8182	107,3383
	Potência Aparente Fundamental (Va)	149,3389	152,2136
	Potência Aparente Harmônica (Va)	5,3862	6,4392
	Potência de Distorção de Corrente (Var)	149,5804	151,2030
	Potência de Distorção de Tensão (Var)	5,3775	6,4823
	Distorção Harmônica Total de Corrente (%)	100,16	99,34
	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)	3,60	4,26
	Potência de Distorção Harmônica (Var)	5,0020	6,3633
	Potência Aparente Não Fundamental (Va)	149,7739	151,4788
	Potência Aparente Total (Va)	211,5049	214,7435
	Potência Não Ativa (Var)	181,0457	186,2233
	Fator de Potência	0,7188	0,7090
Fator de Potência Verdadeiro	0,5079	0,5030	
Fator de Distorção	0,7192	0,7023	

Decimo segundo caso: Nas Figuras 80, 81 e 82 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através da DAQ. Nas Figuras 83, 84 e 85 os sinais de tensão e corrente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente, respectivamente, que foram adquiridos através do osciloscópio Tektronix. Com ângulo de disparo  $330^\circ$  (A4) e carga  $20,3\Omega$  (R3).

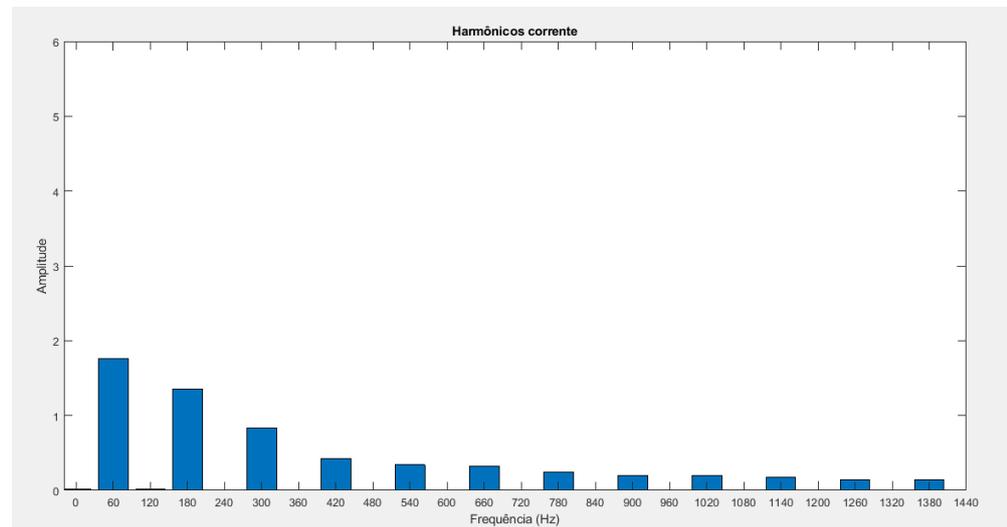
**Figura 80: Sinal de tensão e corrente adquiridos pela DAQ.**



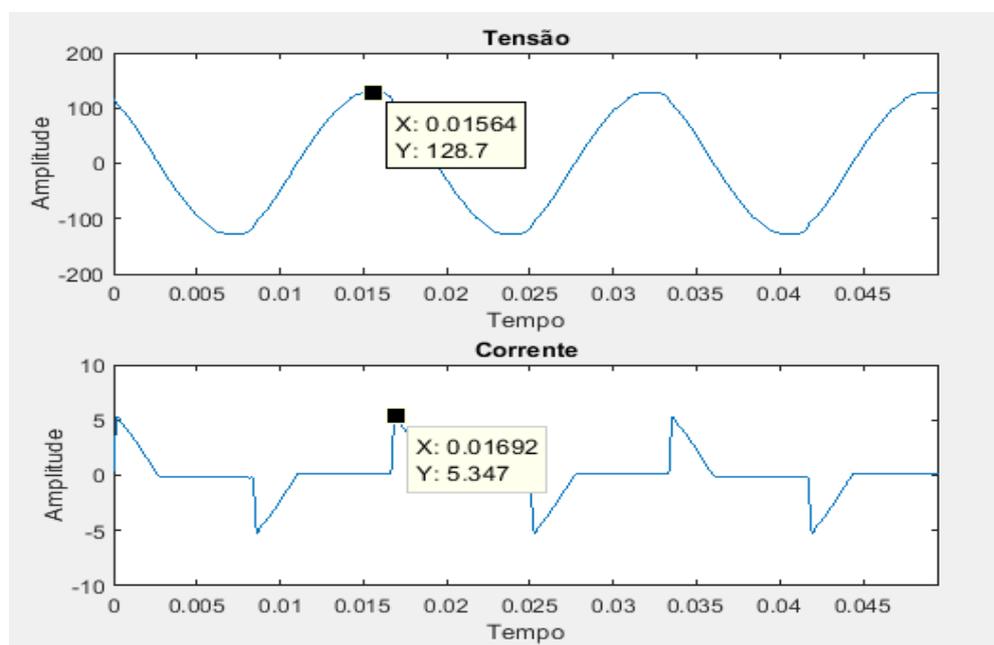
**Figura 81: Harmônicos no sinal de corrente aquisitados pela DAQ.**



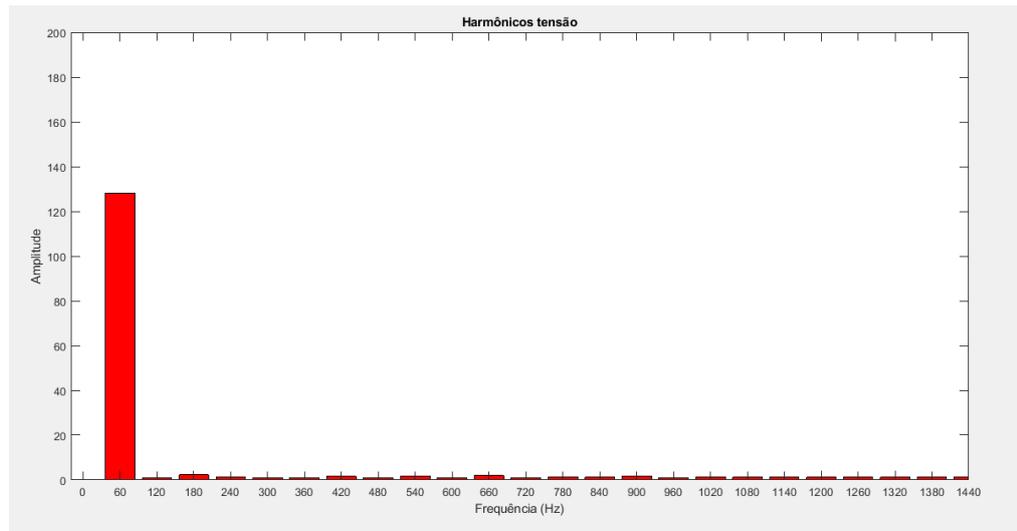
**Figura 82: Harmônicos no sinal de corrente aquisitados pela DAQ.**



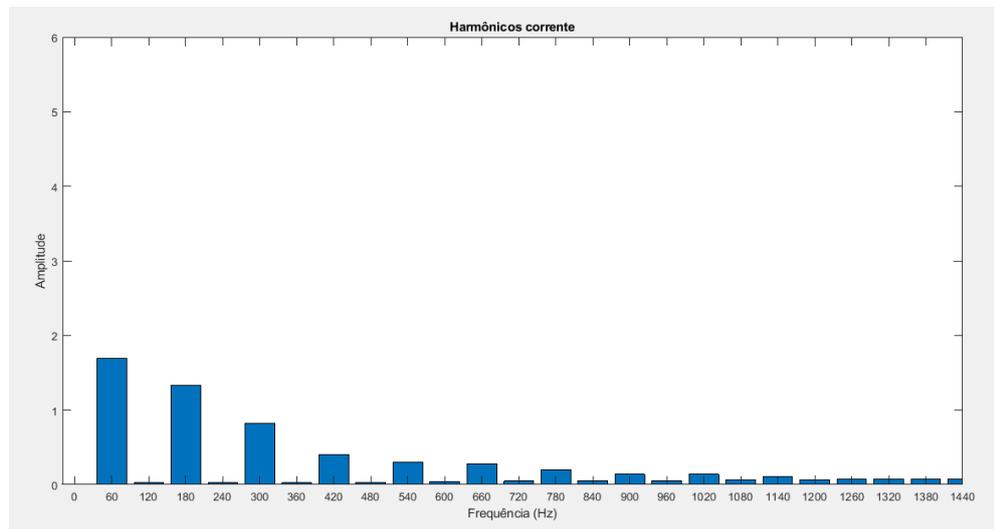
**Figura 83: Sinal de tensão e corrente aquisitados pelo osciloscópio.**



**Figura 84: Harmônicos no sinal de tensão adquiridos pelo osciloscópio.**



**Figura 85: Harmônicos no sinal de corrente adquiridos pelo osciloscópio.**



Na Tabela 15 está apresentado os valores dos métodos de análise de potência clássico, de Budeanu e IEEE 1459, através dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio para o decimo segundo caso, respectivamente.

**Tabela 15: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo 330° (A4) e carga 20,3Ω (R3). (continua)**

	$I_{rms}$	$I_{True\ rms}$	$V_{rms}$	$V_{True\ rms}$
DAQ	<b>1,7391</b>	<b>2,4767</b>	<b>127,2272</b>	<b>127,3080</b>
Osciloscópio	<b>1,7673</b>	<b>2,4989</b>	<b>128,4688</b>	<b>128,5787</b>
<b>Aquisição</b>				
Métodos	Grandezas	DAQ	Osciloscópio	
Clássico	Potência Ativa (W)	<b>157,9537</b>	<b>158,7587</b>	
	Potência Reativa (Var)	<b>154,9509</b>	<b>162,3012</b>	
	Potência Aparente (Va)	<b>221,2672</b>	<b>227,0374</b>	
	Fator de Potência	<b>0,7139</b>	<b>0,6993</b>	

**Tabela 15: Resultados dos métodos de análises de potência clássico, Budeanu e IEEE 1459, dos sinais adquiridos pela DAQ e osciloscópio com ângulo de disparo  $330^\circ$  (A4) e carga  $20,3\Omega$  (R3). (conclusão)**

Métodos	Grandezas	DAQ	Osciloscópio
Budeanu	Potência Ativa (W)	160,3303	156,5852
	Potência Reativa (Var)	161,6140	165,3073
	Potência Aparente (Va)	315,2988	321,3090
	Potência de Distorção	218,1552	226,7026
	Fator de Potência	0,5085	0,4873
IEEE 1459 - 2010	Potência Ativa Fundamental (W)	157,9537	158,7587
	Potência Ativa Harmônica (W)	2,3766	-2,1735
	Potência Ativa Total (W)	160,3303	156,5852
	Potência Reativa Fundamental (Var)	154,9509	162,3012
	Potência Aparente Fundamental (Va)	221,2672	227,0374
	Potência Aparente Harmônica (Va)	7,9884	9,3601
	Potência de Distorção de Corrente (Var)	224,3381	226,9521
	Potência de Distorção de Tensão (Var)	7,8790	9,3637
	Distorção Harmônica Total de Corrente (%)	101,39	99,96
	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)	3,56	4,12
	Potência de Distorção Harmônica (Var)	7,6266	9,1043
	Potência Aparente Não Fundamental (Va)	224,6185	227,3380
	Potência Aparente Total (Va)	315,2977	321,2920
	Potência Não Ativa (Var)	271,4901	280,5524
	Fator de Potência	0,7139	0,6993
Fator de Potência Verdadeiro	0,5013	0,4945	
Fator de Distorção	0,7123	0,6970	

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Denis. **Estimação de potência em tempo real utilizando a transformada Wavelet**. UFRN, 2015.
- ANEEL, **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST, modulo 5** – Sistemas de medição, 2016.
- ANEEL, **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST, modulo 8** – Qualidade da energia elétrica, 2015.
- ANEEL, Nota técnica n° 0029/2011, **Revisão da Regulamentação Sobre a Qualidade do Produto no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica**.
- ANEEL, Nota técnica n° 304/2010, **Módulos construtivos de medição de energia**.
- BACURAU, Rodrigo. **Medidor de energia inteligente para discriminação de consumo por aparelho através de assinatura de cargas**. UNICAMP, 2014.
- BERNARDES, Délvio. GUIMARÃES, Carlos. ARANGO, Hector. **O faturamento residencial e a qualidade de energia elétrica**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 2012.
- COPEL, **ETC 4.04 – Especificação técnica para medidores de energia** – Janeiro, 2008.
- COPEL, **ETC 4.11 – Especificação técnica para medidor eletrônico de energia** – Julho, 2018.
- S. M. DECKMANN e J. A. POMILIO. **Condicionamento de energia elétrica e dispositivos FACTS**. UNICAMP, 2009.
- DUGAN, Roger et. al. **Electrical Power Systems Quality**. 2° edition, 2012.
- HENRIQUES, Adelino. **Medição de energia elétrica para faturamento: estudo comparativo de medidores eletrônicos e eletromecânicos, com foco no desempenho sob condições não senoidais**. CPDEE, 2002.
- HOSSAM, Ahmed. **Study of the effect of harmonics on measurement of the energy meters**. The eleventh international middle east power systems conference, 2006
- H. AKAGI, E. H. WATANABE, M. AREDES, **Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning**.: IEEE Press and Wiley-Interscience, 2007, pp. 25-28.
- IEEE 1459. **Standard definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions**. 2010.
- L. S. CZARNECKI **What is Wrong with the Budeanu Concept of Reactive and Distortion Powers and why it Should be Abandoned**. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, vol. IM-36, no. 3, pp. 834-837, 1987

LIMA, EZEQUIEL. **Reflexões sobre as teorias de potência elétrica em regime não senoidal.** Universidade Federal de Uberlândia – UFU programa de pós-graduação, 2014.

LISITA, Luiz. et. al. **Efeitos da distorção harmônica em medidores de energia elétrica do tipo indução.** FUNAPE-UFMG, 2011.

MACHADO, Paulo. **Desempenho dos medidores monofásico de energia dos tipos eletrônicos e de indução.** O Setor Elétrico, abril de 2011.

NATIONAL INSTRUMENTS. Site: <http://www.ni.com> acessado: 29/04/2019

PAREDES, Helmo. **Teoria de potência conservativa: uma nova abordagem para o controle cooperativo de condicionadores de energia e considerações sobre atribuição de responsabilidades.** Faculdade de engenharia elétrica e de computação da Universidade Estadual de Campinas, 2011.

RODRIGUES, Augusto. **Influência da distorção harmônica e de desequilíbrios em medidores de energia elétrica ativa.** UFP, 2009.

RODRIGUES, José. **Interferência de harmônicas em equipamentos de medição de energia elétrica.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009