



ESCOLA SENAI “MARIANO FERRAZ”
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE ENERGIA E EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA

Augusto Colombo de Sousa
Edgard Gonçalves Cardoso
Francisco Lira
Humberto de Souza Megda

GESTÃO DE ENERGIA

Relatório 3 de Prática: Correção de Fator de Potência

Objetivo

Este relatório tem por finalidade fornecer os resultados de ensaio de medição e caracterização de cargas capacitivas, forma de onda de tensão e corrente, triângulo de potência, cálculo de fator de potência e correção de fator de potência.

Orientação: Professor Dr. Hermon Leal Moreira

São Paulo / SP
2021

Lista de Figuras

Figura 1 - Kit para análise de energia (visão geral).....	3
Figura 2 - Kit para análise de energia (vista do painel de controle).....	3
Figura 3 - Osciloscópio digital Tektronix.....	5
Figura 4 - Analisador de energia MAR80 Megabras	6
Figura 5 - Ponta de prova de tensão passiva	7
Figura 6 - Ponta de Prova de Corrente.....	7
Figura 7 - Ponta para medição de corrente TC	8
Figura 8 - Analisador de qualidade de energia METREL.....	8
Figura 9 - Estrutura completa para ensaio de correção de Fator de Potência	9
Figura 10 - Potência Ativa, Reativa e Aparente na Fase 1	10
Figura 11 - Potência Ativa, Reativa e Aparente na Fase 2.....	10
Figura 12 - Potência Ativa, Reativa e Aparente na Fase 3.....	10
Figura 13 - Somatória das potências das três fases	11
Figura 14 - Valores das correntes nas três fases	12
Figura 15 - Valores das correntes nas três fases	12
Figura 16 - Forma de onda da tensão U1 e corrente I1	13
Figura 17 - Forma de onda da tensão U1 e corrente I1	13
Figura 18 - Forma de onda da tensão U1 e corrente I1	14
Figura 19 - Fator de potência medido.....	15
Figura 20 - Triângulo das Potências	16
Figura 21 - Potências ativa, reativa e aparente por fase e a somatória das três fases	17
Figura 22 - Valores de tensão e corrente em cada fase	18
Figura 23 - Triângulo das Potências	19
Figura 24 - Triângulo das Potências	20
Figura 25 - Potências ativa, reativa e aparente por fase e a somatória das três fases	21
Figura 26 - Valores de tensão e corrente em cada fase	22
Figura 27 - Triângulo das Potências	23
Figura 28 - Fator de potência medido.....	24
Figura 29 - Triângulo das Potências	25
Figura 30 - Fator de potência medido.....	26
Figura 31 - Forma de onda da tensão U1 e corrente I1	28
Figura 32 - Forma de onda da tensão U2 e corrente I2.....	28
Figura 33 - Forma de onda da tensão U3 e corrente I3.....	29
Figura 34 - Fator de potência após correção.....	30
Figura 35 - Forma de onda da tensão U1 e corrente I1	31
Figura 36 - Forma de onda da tensão U2 e corrente I2 corrigidas	32
Figura 37 - Forma de onda da tensão U3 e corrente I3 corrigidas	32
Figura 38 - Triângulo das Potências antes da correção	33
Figura 39 - Triângulo das Potências antes da correção	33

Lista de tabelas

Tabela 1 - Valor de potência ativa, reativa e aparente por fase e a somatória das três fases....	11
Tabela 2 - Valores de tensão e corrente em cada fase	12
Tabela 3 - Valor de potência ativa, reativa e aparente por fase e a somatória das três fases....	17
Tabela 4 - Valores de tensão e corrente em cada fase	18
Tabela 5 - Valor de potência ativa, reativa e aparente por fase e a somatória das três fases....	21
Tabela 6 - Valores de tensão e corrente em cada fase	22
Tabela 7 - Valores de potência ativa total, potência reativas total e potência aparente total	26
Tabela 8 - Fator de potência total e ângulo de defasagem	27
Tabela 9 - Comparação entre o fator de potência calculado com o medido.....	27
Tabela 10 - Valores de potência ativa total, potência reativas total e potência aparente total....	33
Tabela 11 - Dados das potências, fatores de potência e ângulo de defasagem antes e depois da correção	34

Sumário

1	OBJETIVO.....	1
1.1	Objetivos específicos.....	1
2	DEFINIÇÕES	2
2.1	Fator de Potência	2
2.2	Exemplificação de fator de potência.....	2
3	LISTA DE EQUIPAMENTOS.....	3
3.1	Kit para análise de demanda e fator de potência - XE501	3
3.1.1	Osciloscópio digital Tektronix	4
3.1.2	Analisador de energia.....	5
3.1.3	Ponta de prova para osciloscópio	6
3.1.4	Ponta de Prova de Corrente.....	7
4	ATIVIDADE PRÁTICA.....	10
4.1	Valor de potência ativa, reativa e aparente (a)	10
4.2	Valores de tensão e corrente em cada fase (b)	11
4.3	Formas de onda da tensão e corrente (c)	12
4.4	Cálculo o fator de potência total e o ângulo de defasagem (d).....	14
4.5	Comparação entre o fator de potência calculado com o medido (e)	15
4.6	Triângulo das potências da Atividade (f)	16
4.7	Potência ativa, potência reativa e potência aparente por fase e a somatória das três fases (g)17	
4.8	Valores de tensão e corrente em cada fase (h)	18
4.9	Triângulo das potências da Atividade (i)	18
4.10	Cálculo de fator de potência e do ângulo de defasagem (j)	19
4.11	Potência ativa, potência reativa e potência aparente por fase e a somatória das três fases (k)20	
4.12	Valores de tensão e corrente em cada fase (l)	21
4.13	Fator de potência, ângulo de defasagem e triângulo das potências da Atividade (m)	22
4.14	Comparação entre o fator de potência calculado com o medido (n)	24
4.15	Triângulo de potências (o)	25
4.16	Explicação técnica (p)	25
4.17	Valores de potência ativa total, potência reativas total e potência aparente total (q)	26
4.18	Fator de potência total e ângulo de defasagem (r).....	26
4.19	Comparação entre o fator de potência calculado com o medido (s).....	27
4.20	Formas de onda de tensão e corrente (t).....	27

4.21	Cálculo de capacitor para corrigir cosseno de phi igual a 0,94 (u)	29
4.22	Cálculo de capacitor (v)	29
4.23	Fator de potência (w)	30
4.24	Formas de onda de tensão e corrente corrigidas (x)	31
4.25	Potências ativa total, reativa total e aparente total (y)	33
4.26	Comparação entre triângulos de potência (z)	33
5	IMPORTÂNCIA DOS CÁLCULOS NO GERENCIAMENTO DE ENERGIA	35
5.1	Potência Ativa Total	35
5.2	Potência Reativa Total.....	35
5.3	Potência Aparente Total.....	35
5.4	Fator de Potência.....	35
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
7	REFERÊNCIAS.....	38

1 OBJETIVO

Este relatório tem por objetivo apresentar os procedimentos realizados e os dados coletados em experimento de caracterização de cargas capacitivas e correção de fator de potência.

1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar cargas capacitivas;
- Desenhar forma de onda de tensão e corrente;
- Obter o triângulo de potência;
- Cálculo de fator de potência;
- Correção de fator de potência.

2 DEFINIÇÕES

2.1 Fator de Potência

Define-se fator e potência como sendo a divisão de potência ativa (kW) pela potência aparente (kVA).

$$FP = \frac{kW}{kVA}$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int V_i(t) * i_i(t) dt}{V_{RMS} * I_{RMS}}$$

2.2 Exemplificação de fator de potência

Se uma máquina operatriz está trabalhando com 100 kW (potência ativa) e a energia aparente consumida é 125 kVA, ao dividir 100 por 125, será obtido um fator de potência igual a 0,80.

$$FP = \frac{kW}{kVA} \rightarrow FP = \frac{100 kW}{125 kVA} \rightarrow FP = 0,80$$

Define-se também como fator de potência a relação entre potência ativa e potência reativa. Ele indica a eficiência com a qual a energia está sendo usada.

Para evitar o desperdício de energia elétrica, o antigo DNAEE (Departamento Nacional de Energia Elétrica), fixou a portaria 1569/93 que estabeleceu o fator de potência maior ou igual a 0,92. O não cumprimento dessa portaria acarreta aos usuários, multas pesadas e desnecessárias.

3 LISTA DE EQUIPAMENTOS

3.1 Kit para análise de demanda e fator de potência - XE501

Este kit é composto por diversos equipamentos elétricos, eletrônicos e eletromecânicos, sendo destinado a análise de demanda e fator de potência, indicadores estes imprescindíveis na análise de qualidade de energia.



Figura 1 - Kit para análise de energia (visão geral)

Fonte: Arquivo pessoal dos autores



Figura 2 - Kit para análise de energia (vista do painel de controle)

Fonte: Arquivo pessoal dos autores

Principais componentes do kit didático:

- 1 Medidor eletrônico de energia elétrica ELO 2113D
- 1 Smart Control D - Controlador de demanda
- 1 Smart Cap 485 - Controlado de fator de potência
- 1 inversor de frequência CFW08 para motor de 2CV
- 1 amperímetro digital
- 3 motores WEG 2CV 220/380V
- lâmpadas tubulares (20 W cada)
- 3 reatores (2 lâmpadas tubulares 20 W)
- 2 coolers 120 x 120 x 38mm 127/220 V

- 3 lâmpadas incandescentes 200 W
- 3 lâmpadas incandescentes 100 W
- 3 lâmpadas incandescentes 60W
- 1 capacitor 0,5 kVAr
- 2 capacitores 0,75 kVAr
- 1 capacitor 1,5 kVAr
- 1 capacitor 2,0 kVAr
- Reatores para descarga para bancos de capacitores de até 100 KVAR
- Transformadores de corrente (TC)

3.1.1 Osciloscópio digital Tektronix

O osciloscópio é um instrumento de medida de sinais elétricos/eletrônicos que apresenta gráficos a duas dimensões de um ou mais sinais elétricos. O eixo vertical do ecrã representa a intensidade do sinal e o eixo horizontal representa o tempo, tornando o instrumento útil para mostrar sinais periódicos.

Características técnicas:

- Osciloscópio Digital
- Marca: Tektronix
- Modelo: TBS1052C
- Banda de frequência: 50Mhz
- Canais 2
- Tela de cristal líquido WVGA (800 x 480 pixels) colorida de 7 polegadas
- Taxa de amostragem em todos os canais
- Janela FFT dupla, monitora simultaneamente os domínios de tempo e frequência
- Resolução vertical de 8 bits
- Sensibilidade vertical 1mV a 10V/div nas entradas BNC
- Máxima tensão entre o sinal e referência terra na entrada BNC de 300VRMS

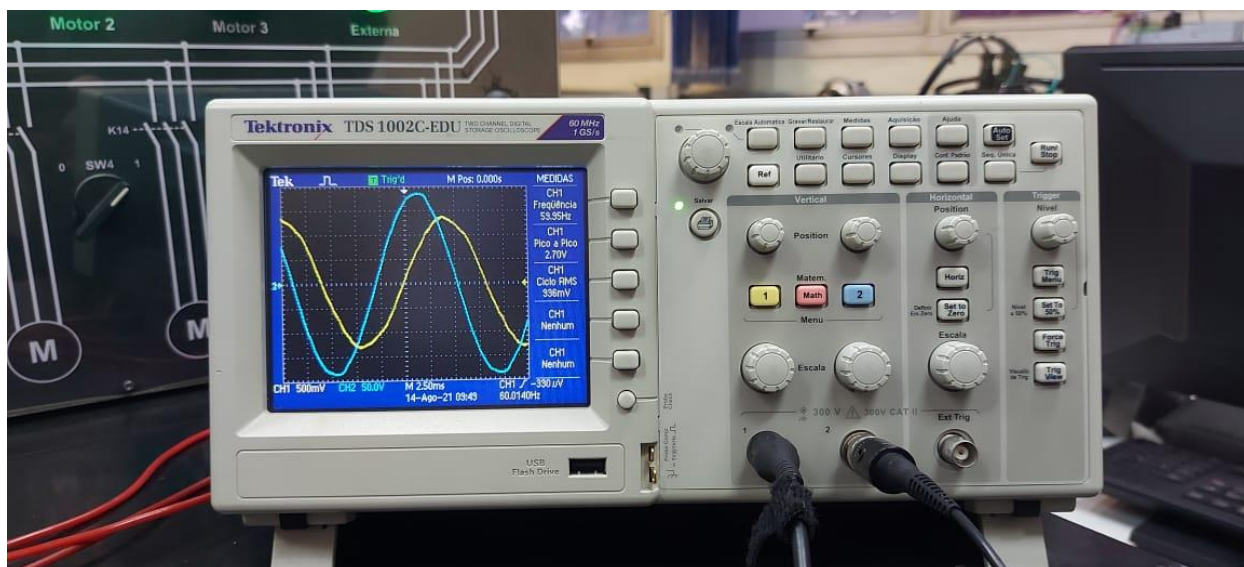


Figura 3 - Osciloscópio digital Tektronix
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

3.1.2 Analisador de energia

Esse equipamento é largamente utilizado por técnicos para medir a potência da distribuição energética em determinado sistema. O fluxo de potência medido pelo analisador faz referência à passagem de energia elétrica entre um dissipador e uma fonte de energia.

Os analisadores podem ser empregados pra medir fluxo de energia em sistemas de corrente alternada ou contínua. Com eles, torna-se possível fazer a detecção da corrente e da tensão do sistema. O cálculo do consumo e da demanda de energia elétrica também pode ser realizado por meio do analisador de energia.



*Figura 4 - Analisador de energia MAR80 Megabras
Fonte: Arquivo pessoal dos autores*

3.1.3 Ponta de prova para osciloscópio

Uma Ponta de Prova para Osciloscópio é um dispositivo que faz uma conexão física e elétrica entre um ponto de teste ou fonte de sinal em um osciloscópio.

Dependendo da sua necessidade de medição, essa conexão pode ser feita com algo tão simples quanto um comprimento de fio ou com algo tão sofisticado quanto uma ponta de osciloscópio diferencial ativa.

Essencialmente, uma ponteira de osciloscópio é um dispositivo ou rede que conecta a fonte de sinal à entrada do seu osciloscópio.

Ponta de prova de tensão passiva - As pontas de tensão passiva estão disponíveis com vários fatores de atenuação - 1X, 10X e 100X - para diferentes faixas de tensão. A sonda passiva 10x é a mais comum e normalmente fornecida com a maioria dos osciloscópios.



*Figura 5 - Ponta de prova de tensão passiva
Fonte: Arquivo pessoal dos autores*

3.1.4 Ponta de Prova de Corrente

A ponta de corrente é projetada para detectar a força do campo eletromagnético e convertê-lo em uma tensão correspondente para medição por um osciloscópio.



*Figura 6 - Ponta de Prova de Corrente
Fonte: Arquivo pessoal dos autores*



Figura 7 - Ponta para medição de corrente TC
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

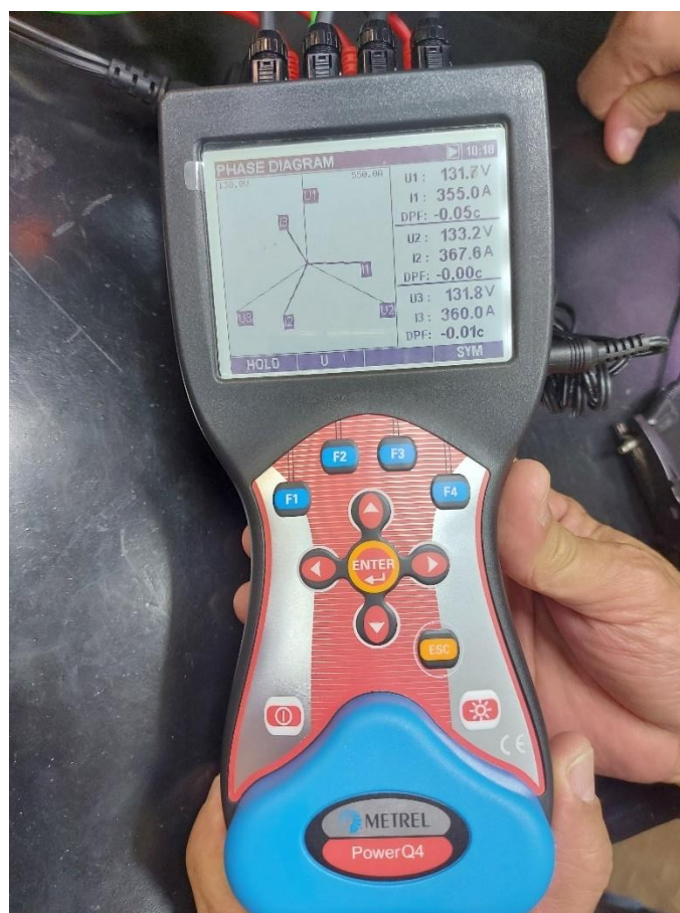


Figura 8 - Analisador de qualidade de energia METREL
Fonte: Arquivo pessoal dos autores



Figura 9 - Estrutura completa para ensaio de correção de Fator de Potência
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

4 ATIVIDADE PRÁTICA

4.1 Valor de potência ativa, reativa e aparente (a)

Entre no modo de programação, pressionando a tecla f0 e depois f1. No modo de programação pressione até chegar à tela "Prog. Auto/Manual", pressione F1 para entrar e depois "↓", para passar para o modo "Manual", para finalizar pressione f1 para confirmar. Na próxima tela "Atuar nas Saídas", pressione F1 para entrar e logo após acione o capacitor 0,5 kVAr, 1,5 kVAr e 2,0 kVAr, utilizando "↑" e para finalizar pressione f4 para sair. No SMART CAP485 o primeiro banco está desabilitado, devido sua utilização ser outra, iniciando assim a partir do segundo. A partir disto meça no SMART CAP 485 o valor de potência ativa, reativa e aparente por fase e a somatória das três fases.



Figura 10 - Potência Ativa, Reativa e Aparente na Fase 1
Fonte: Arquivo pessoal dos autores



Figura 11 - Potência Ativa, Reativa e Aparente na Fase 2
Fonte: Arquivo pessoal dos autores



Figura 12 - Potência Ativa, Reativa e Aparente na Fase 3
Fonte: Arquivo pessoal dos autores



Figura 13 - Somatória das potências das três fases
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores

$W_1:$	418,0 W	$W_2:$	366,8 W	$W_3:$	305,1 W	$W_t:$	1,10 kW
$VA_{r1}:$	845,2 VAR	$VA_{r2}:$	1,22 kVAR	$VA_{r3}:$	1,12 kVAR	$VA_{rt}:$	3,17 kVAR
$VA_1:$	943,0 VA	$VA_2:$	1,27 kVA	$VA_3:$	1,16 kVA	$VA_t:$	3,37 kVA

Tabela 1 - Valor de potência ativa, reativa e aparente por fase e a somatória das três fases.
 Fonte: Elaborado pelos autores

4.2 Valores de tensão e corrente em cada fase (b)

Pressione no SMART CAP 485 a tecla f1, visualizando assim o valor de tensão em cada fase, em seguida pressione a tecla f2, visualizando assim o valor de corrente em cada fase. Anote estes dados obtidos nos espaço em branco que segue abaixo e compare com o medido pelo amperímetro.



Figura 14 - Valores das correntes nas três fases
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores



Figura 15 - Valores das correntes nas três fases
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores

V1:	130,3 V	V2:	130,7 V	V3:	130,1 V
A1:	7,23 A	A2:	9,77 A	A3:	9,01 A

Tabela 2 - Valores de tensão e corrente em cada fase

Fonte: Elaborado pelos autores

4.3 Formas de onda da tensão e corrente (c)

Obtenção da forma de onda da tensão e corrente com o auxílio do osciloscópio. Foi utilizado o manual para referência para efetuar ligações.

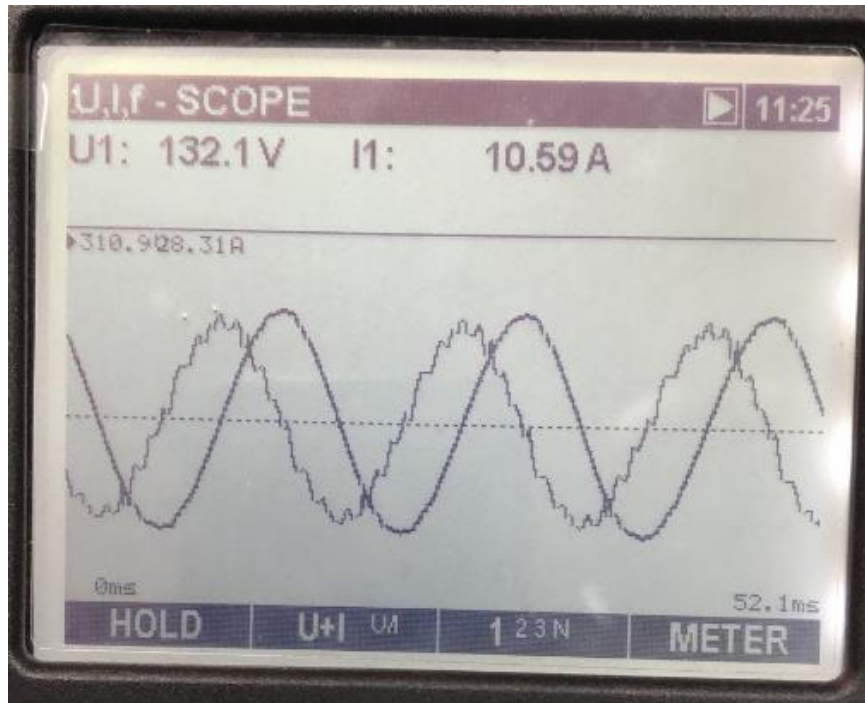


Figura 16 - Forma de onda da tensão U_1 e corrente I_1
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores

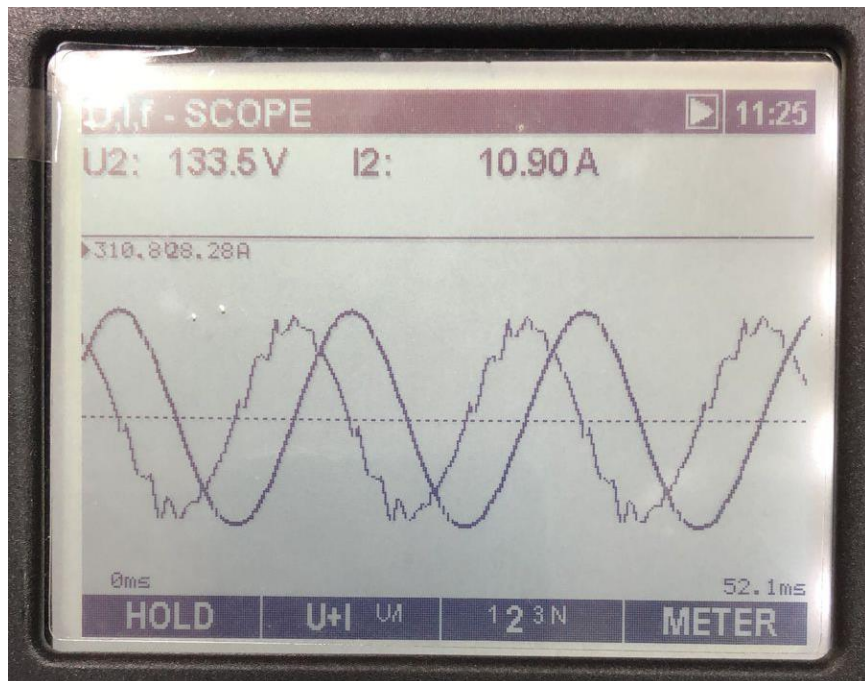


Figura 17 - Forma de onda da tensão U_1 e corrente I_1
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores

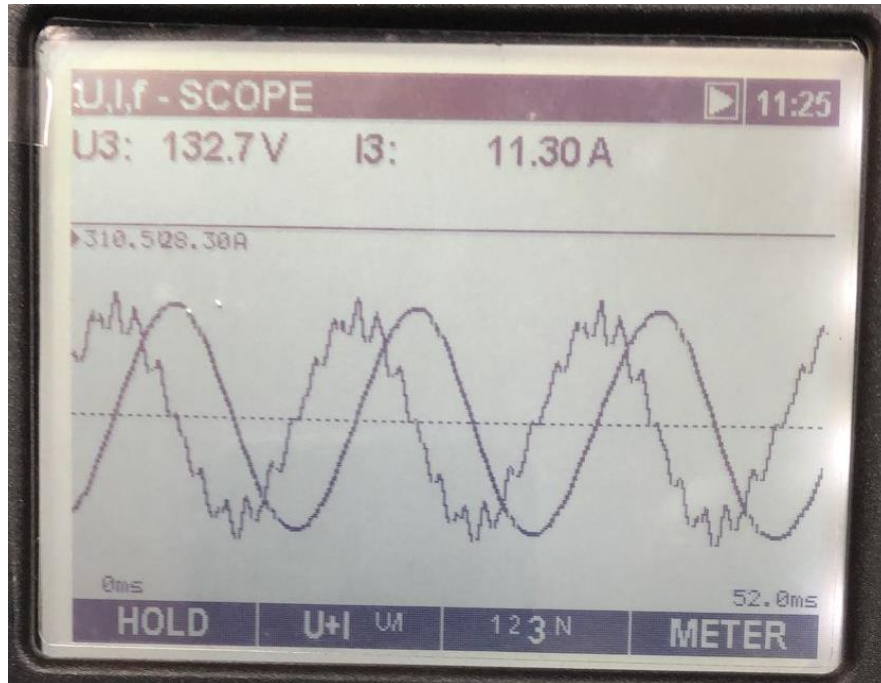


Figura 18 - Forma de onda da tensão U1 e corrente I1
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores

4.4 Cálculo o fator de potência total e o ângulo de defasagem (d)

Cálculo do fator de potência total e o ângulo de defasagem baseados nos parâmetros anotados no item anterior:

$$FP = \frac{P}{S} \rightarrow FP = \frac{P_t}{S_t} \rightarrow FP = \frac{1,10 * 10^3}{3,37 * 10^3} \rightarrow FP = 0,32641$$

$$\varphi_t = \tan^{-1} \left(\frac{kVAr}{kW} \right) \rightarrow \varphi_t = \tan^{-1} \left(\frac{3,17}{1,10} \right) \rightarrow \varphi_t = \tan^{-1}(2,88182) \rightarrow \varphi_t = 70^\circ 51' 47,03''$$

FP_t:	0,32641	φ_t:	70° 51' 47,03"
------------------------	---------	-----------------------	----------------

4.5 Comparação entre o fator de potência calculado com o medido (e)

Para obter o fator de potência no SMARTCAP485 foi pressionada a tecla FP, sendo possível verificar o fator de potência por fase. As teclas “↑” ou “↓” podem ser utilizadas para obter-se o FP_t .

Neste exercício foram utilizados os dados do analisador de qualidade de energia e não do SMARTCAP485.

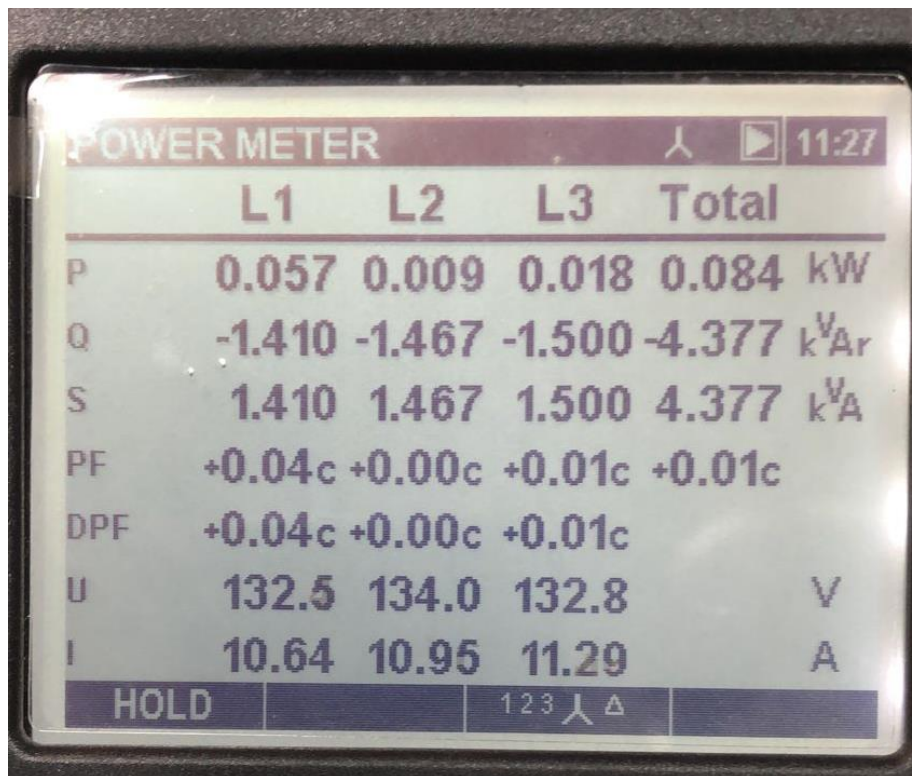


Figura 19 - Fator de potência medido
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

$$\underline{FP_t: \quad 0,32641}$$

Observação: o SMARTCAP485 mede na faixa de 0,5i a 0,5c.

$$\underline{FP_{calculado}: \quad 0,32641}$$

$$\underline{FP_{medido}: \quad 0,01}$$

4.6 Triângulo das potências da Atividade (f)

Dados os parâmetros medidos de Potência Ativa, Reativa e Aparente por fase e a somatória das três fases, no item 4.1, foi desenhado o triângulo de potência.

$$S_{3\phi} = P_{3\phi} + jQ_{3\phi}$$

$S_{3\phi}$: Potência aparente primária [VA]

$P_{3\phi}$: Potência ativa trifásica [W]

$Q_{3\phi}$: Potência reativa trifásica [VAr]

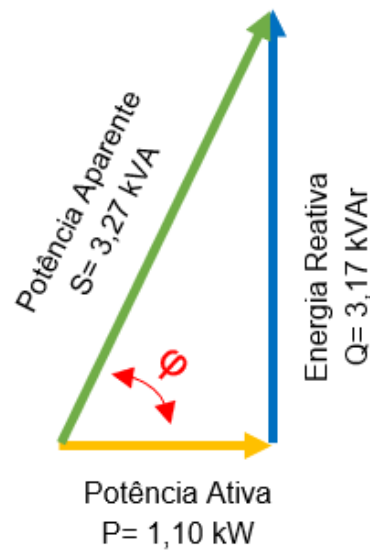


Figura 20 - Triângulo das Potências
Fonte: Elaborado pelos autores

$$FP = \frac{P}{S} \rightarrow FP = \frac{P_t}{S_t} \rightarrow FP = \frac{1,10 * 10^3}{3,37 * 10^3} \rightarrow FP = 0,32641$$

$$\varphi_t = \tan^{-1}\left(\frac{kVAr}{kW}\right) \rightarrow \varphi_t = \tan^{-1}\left(\frac{3,17}{3,37}\right) \rightarrow \varphi_t = \tan^{-1}(0,94065) \rightarrow \varphi_t = 43^\circ 14' 54,17''$$

P_t :	1,10 kW
Q_t :	3,17 kVAR
S_t :	3,37 kVA
φ_t :	43° 14' 54,17"

4.7 Potência ativa, potência reativa e potência aparente por fase e a somatória das três fases (g)

Foi acionado 1080 (W) de lâmpada incandescente, Motor 1, Motor 2 e Motor 3 e, em seguida, realizada a com o analisador de qualidade de energia a medição dos valores de potência ativa, potência reativa e potência aparente por fase e a somatória das três fases.



Figura 21 - Potências ativa, reativa e aparente por fase e a somatória das três fases
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

W_1 :	339 W	W_2 :	318 W	W_3 :	258 W	W_t :	915 W
VA_{r1} :	288 VAR	VA_{r2} :	315 VAR	VA_{r3} :	315 VAR	VA_{rt} :	918 VAR
VA_1 :	444 VA	VA_2 :	447 VA	VA_3 :	408 VA	VA_t :	1296 VA

Tabela 3 - Valor de potência ativa, reativa e aparente por fase e a somatória das três fases.
Fonte: Elaborado pelos autores

4.8 Valores de tensão e corrente em cada fase (h)

Foi utilizado o analisador de qualidade de energia para obtenção dos valores de tensão e corrente em cada fase.



Figura 22 - Valores de tensão e corrente em cada fase
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

V1:	131,0 V	V2:	132,5 V	V3:	131,6 V
A1:	3,399 A	A2:	3,381 A	A3:	3,108 A

Tabela 4 - Valores de tensão e corrente em cada fase
Fonte: Elaborado pelos autores

4.9 Triângulo das potências da Atividade (i)

Dados os parâmetros medidos de Potência Ativa, Reativa e Aparente por fase e a somatória das três fases, no item 4.7, foi desenhado o triângulo de potência.

$$\dot{S}_{3\phi} = P_{3\phi} + jQ_{3\phi}$$

$S_{3\phi}$: Potência aparente primária [VA]

$P_{3\phi}$: Potência ativa trifásica [W]

$Q_{3\phi}$: Potência reativa trifásica [VAr]

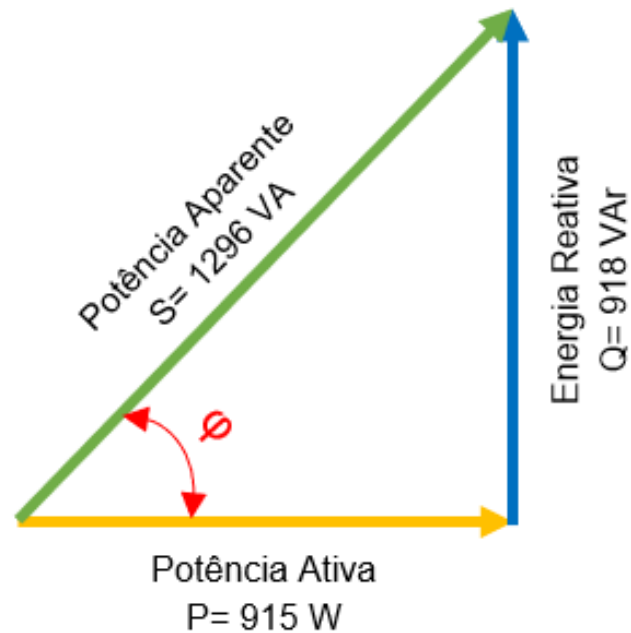


Figura 23 - Triângulo das Potências
Fonte: Elaborado pelos autores

P_t :	915 kW
Q_t :	918 VAr
S_t :	1296 VA

4.10 Cálculo de fator de potência e do ângulo de defasagem (j)

Com os valores anotados a partir das medições com o analisador de qualidade de energia, foram calculados o fator de potência e do ângulo de defasagem

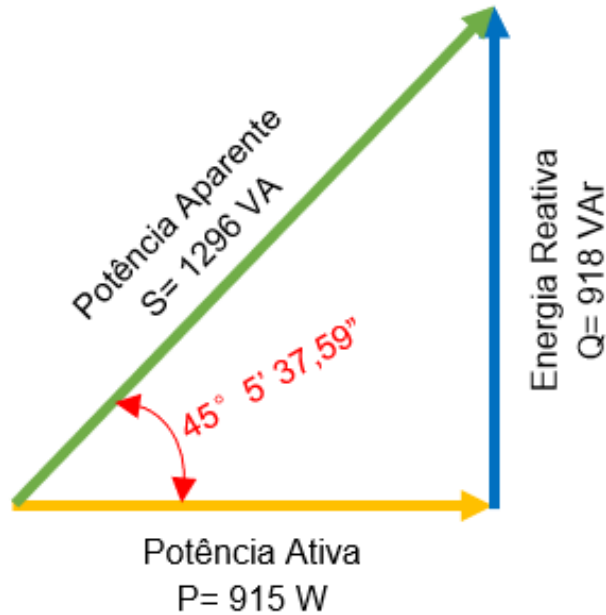


Figura 24 - Triângulo das Potências
 Fonte: Elaborado pelos autores

$$FP = \frac{P}{S} \rightarrow FP = \frac{P_t}{S_t} \rightarrow FP = \frac{915}{1296} \rightarrow FP = 0,70602$$

$$\varphi_t = \tan^{-1}\left(\frac{VAr}{W}\right) \rightarrow \varphi_t = \tan^{-1}\left(\frac{918}{915}\right) \rightarrow \varphi_t = \tan^{-1}(1,00328) \rightarrow \varphi_t = 45^\circ 5' 37,59''$$

P_t :	915 kW
Q_t :	918 VAr
S_t :	1296 VA
φ :	45° 5' 37,59"

4.11 Potência ativa, potência reativa e potência aparente por fase e a somatória das três fases (k)

Mantido o acionamento de 1080 (W) de lâmpada incandescente, Motor 1, Motor 2 e Motor 3, em seguida, foram acionados os capacitores 0,5 kVAr, 1,5 kVAr e 2,0 kVAr. Realizou-se com o analisador de qualidade de energia a medição dos valores de potência ativa, potência reativa e potência aparente por fase e a somatória das três fases.

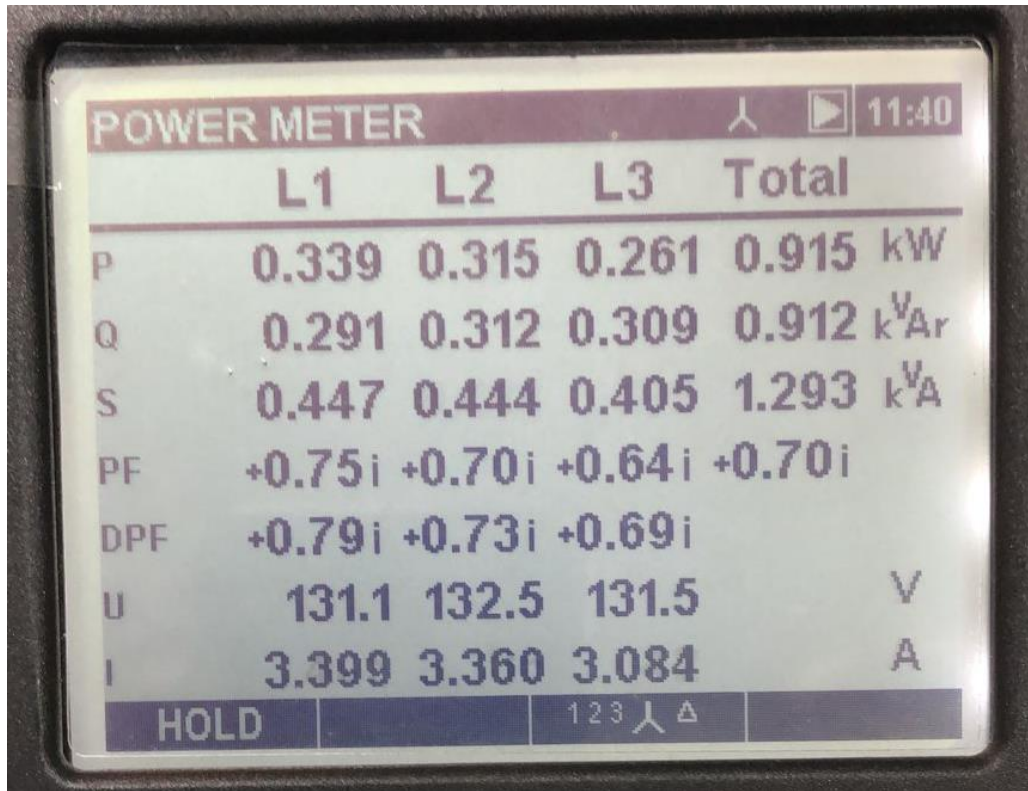


Figura 25 - Potências ativa, reativa e aparente por fase e a somatória das três fases
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores

$W_1:$	339 W	$W_2:$	315 W	$W_3:$	261 W	$W_t:$	915 W
$VA_{r1}:$	291 VAR	$VA_{r2}:$	312 VAR	$VA_{r3}:$	309 VAR	$VA_{rt}:$	912 VAR
$VA_1:$	447 VA	$VA_2:$	444 VA	$VA_3:$	405 VA	$VA_t:$	1293 VA

Tabela 5 - Valor de potência ativa, reativa e aparente por fase e a somatória das três fases.
 Fonte: Elaborado pelos autores

4.12 Valores de tensão e corrente em cada fase (I)

Foi utilizado o analisador de qualidade de energia para obtenção dos valores de tensão e corrente em cada fase.

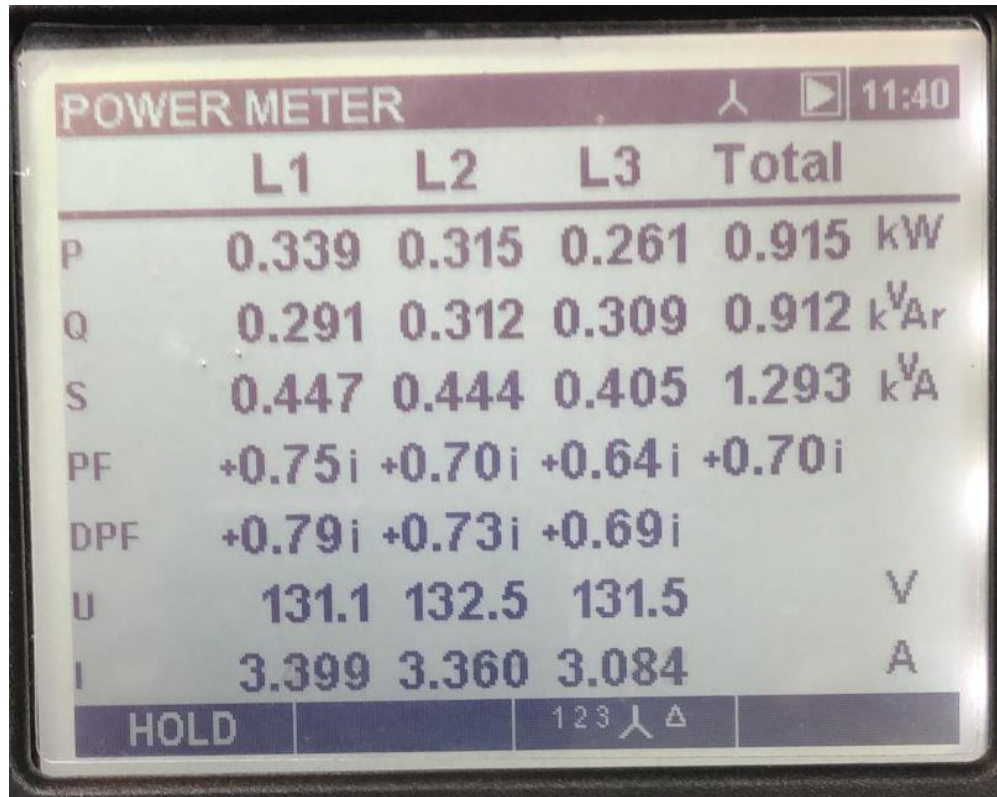


Figura 26 - Valores de tensão e corrente em cada fase
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores

V1:	131,1 V	V2:	132,5 V	V3:	131,5 V
A1:	3,399 A	A2:	3,360 A	A3:	3,084 A

Tabela 6 - Valores de tensão e corrente em cada fase
 Fonte: Elaborado pelos autores

4.13 Fator de potência, ângulo de defasagem e triângulo das potências da Atividade (m)

Dados os parâmetros medidos de Potência Ativa, Reativa e Aparente por fase e a somatória das três fases, no item 4.11, foi desenhado o triângulo de potência.

$$\dot{S}_{3\phi} = P_{3\phi} + jQ_{3\phi}$$

$\dot{S}_{3\phi}$: Potência aparente primária [VA]

$P_{3\phi}$: Potência ativa trifásica [W]

$Q_{3\phi}$: Potência reativa trifásica [VAr]

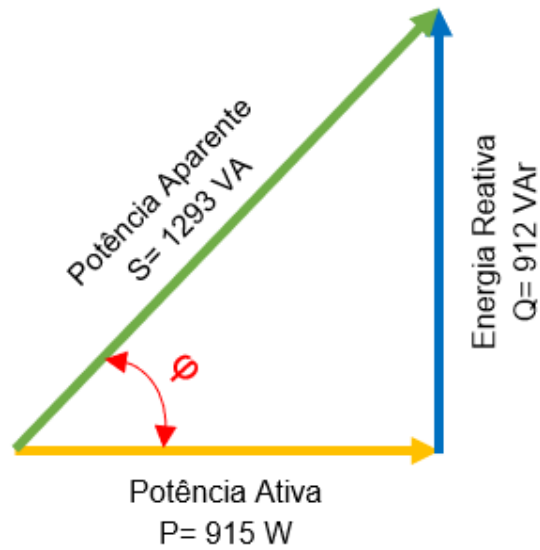


Figura 27 - Triângulo das Potências
 Fonte: Elaborado pelos autores

P_t :	915 kW
Q_t :	912 VAr
S_t :	1293 VA

$$FP = \frac{P}{S} \rightarrow FP = \frac{P_t}{S_t} \rightarrow FP = \frac{915}{1293} \rightarrow FP = 0,70766$$

$$\varphi_t = \tan^{-1}\left(\frac{VAr}{W}\right) \rightarrow \varphi_t = \tan^{-1}\left(\frac{912}{915}\right) \rightarrow \varphi_t = \tan^{-1}(1,00328) \rightarrow \varphi_t = 44^\circ 54' 21,31''$$

FP_t :	0,70766	φ_t :	44° 54' 21,31'''
----------	---------	---------------	------------------

4.14 Comparação entre o fator de potência calculado com o medido (n)

Para obter o fator de potência no SMARTCAP485 foi pressionada a tecla FP, sendo possível verificar o fator de potência por fase. As teclas “↑” ou “↓” podem ser utilizadas para obter-se o FP_t .

Neste exercício foram utilizados os dados do analisador de qualidade de energia e não do SMARTCAP485.

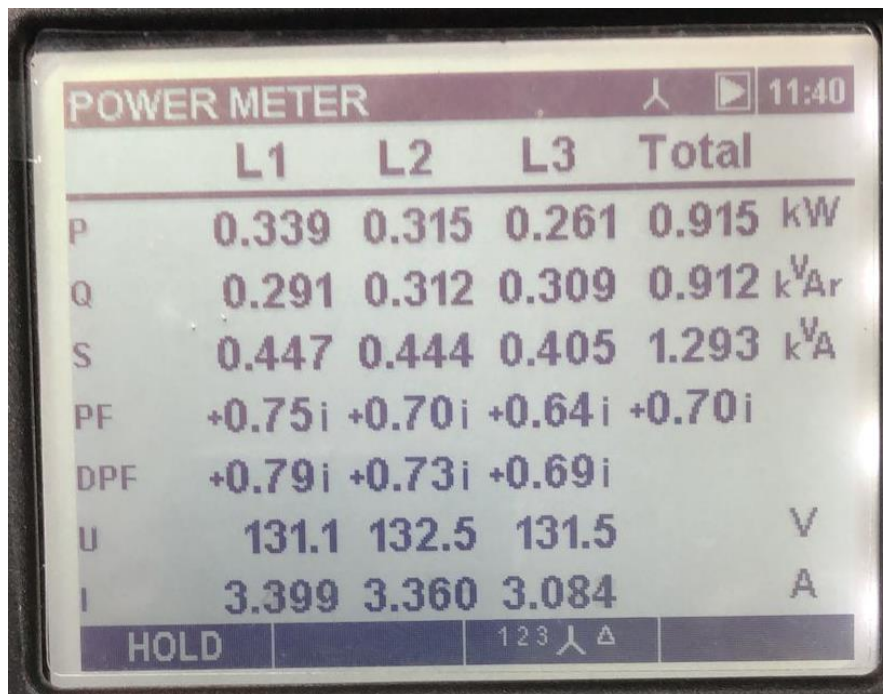


Figura 28 - Fator de potência medido
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

$$FP_t: \quad 0,70000$$

Comparação o fator de potência calculado com o medido com o analisador de qualidade de energia.

$$FP_{calculado}: \quad 0,70766$$
$$FP_{medido}: \quad 0,70000$$

4.15 Triângulo de potências (o)

P_t :	915 kW
Q_t :	912 VAR
S_t :	1293 VA
φ_t :	44° 54' 21,31''

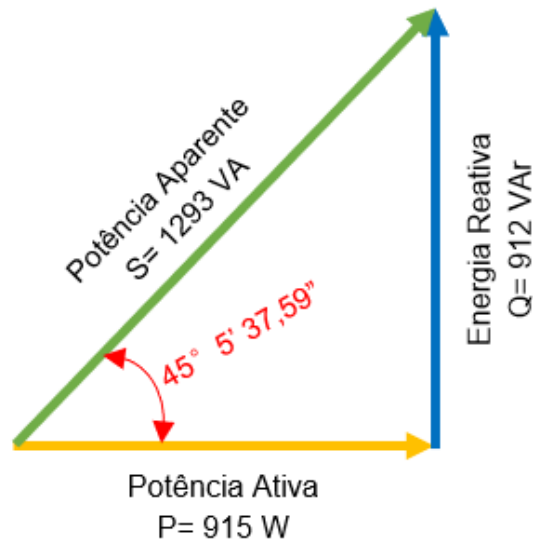


Figura 29 - Triângulo das Potências
Fonte: Elaborado pelos autores

4.16 Explicação técnica (p)

Com base nos dados obtidos e na análise da corrente medida nos amperímetros, verificou-se que a corrente total não é a soma das cargas indutivas mais as dos capacitores.

Com base na literatura, nas explicações do docente e nas constatações experimentais dos alunos, verificou-se que, para reduzir a potência reativa geradas pelas cargas existentes no sistema, foi necessário o uso de bancos de capacitores junto com com banco de indutores (sistema montado em série)

4.17 Valores de potência ativa total, potência reativas total e potência aparente total (q)

Foi acionado o Motor 1 e 480 (W) de carga resistiva e, sem seguida, foi medido o valores de potência ativa potência ativa total, potência reativas total e potência aparente total.

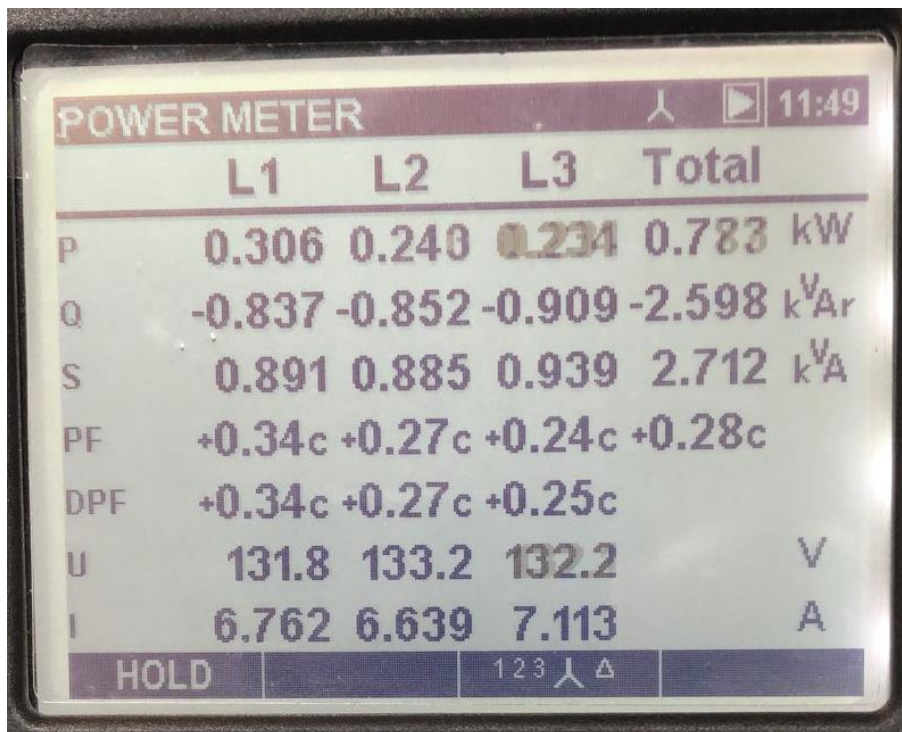


Figura 30 - Fator de potência medido
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

W_t :	783 W
VA_{rt} :	-2598 VAr
VA_t :	2712 VA

Tabela 7 - Valores de potência ativa total, potência reativas total e potência aparente total
Fonte: Elaborado pelos autores

4.18 Fator de potência total e ângulo de defasagem (r)

Com os dados os parâmetros medidos de potência ativa total, potência reativas total e potência aparente total, no item 4.18, calculou-se o fator de potência total e ângulo de defasagem.

$$S_{3\phi} = P_{3\phi} + jQ_{3\phi}$$

$S_{3\phi}$: Potência aparente primária [VA]

$P_{3\phi}$: Potência ativa trifásica [W]

$Q_{3\phi}$: Potência reativa trifásica [VAr]

$$FP = \frac{P}{S} \rightarrow FP = \frac{P_t}{S_t} \rightarrow FP = \frac{783}{2712} \rightarrow FP = 0,28872$$

$$\varphi_t = \tan^{-1}\left(\frac{VAr}{W}\right) \rightarrow \varphi_t = \tan^{-1}\left(\frac{-2598}{783}\right) \rightarrow \varphi_t = \tan^{-1}(3,70115) \rightarrow \varphi_t = 74^\circ 52' 49,71''$$

FP_t:	0,28872	φ_t:	74° 52' 49,71"
------------------------	----------------	-----------------------	-----------------------

Tabela 8 - Fator de potência total e ângulo de defasagem
 Fonte: Elaborado pelos autores

4.19 Comparação entre o fator de potência calculado com o medido (s)

Comparação o fator de potência calculado com o medido com o analisador de qualidade de energia.

FP_{calculado}:	0,28872
FP_{medido}:	0,28000

Tabela 9 - Comparação entre o fator de potência calculado com o medido
 Fonte: Elaborado pelos autores

4.20 Formas de onda de tensão e corrente (t)

Com o analisador de qualidade de energia foram obtidas formas de onda da tensão e da corrente.

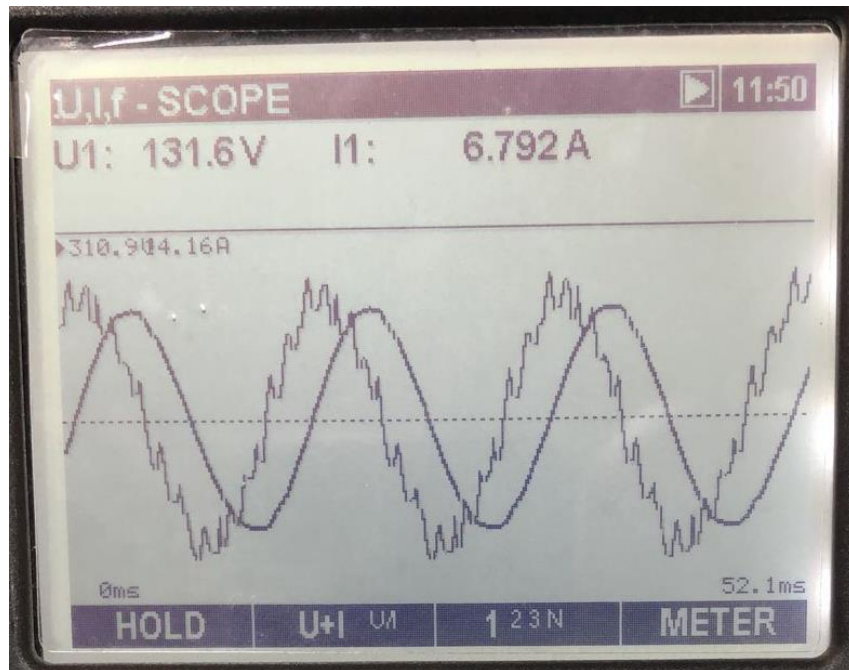


Figura 31 - Forma de onda da tensão U_1 e corrente I_1
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores

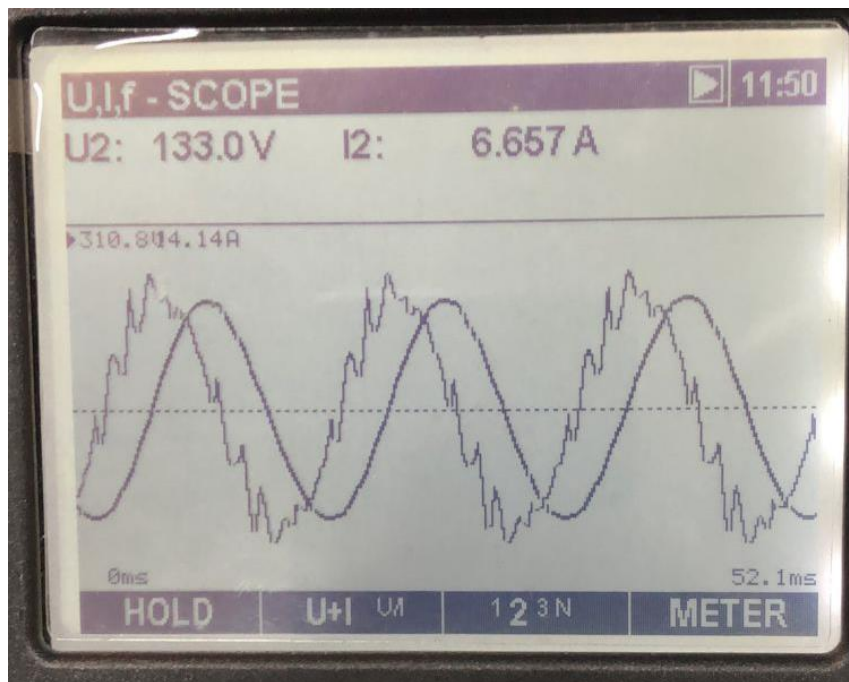


Figura 32 - Forma de onda da tensão U_2 e corrente I_2
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores

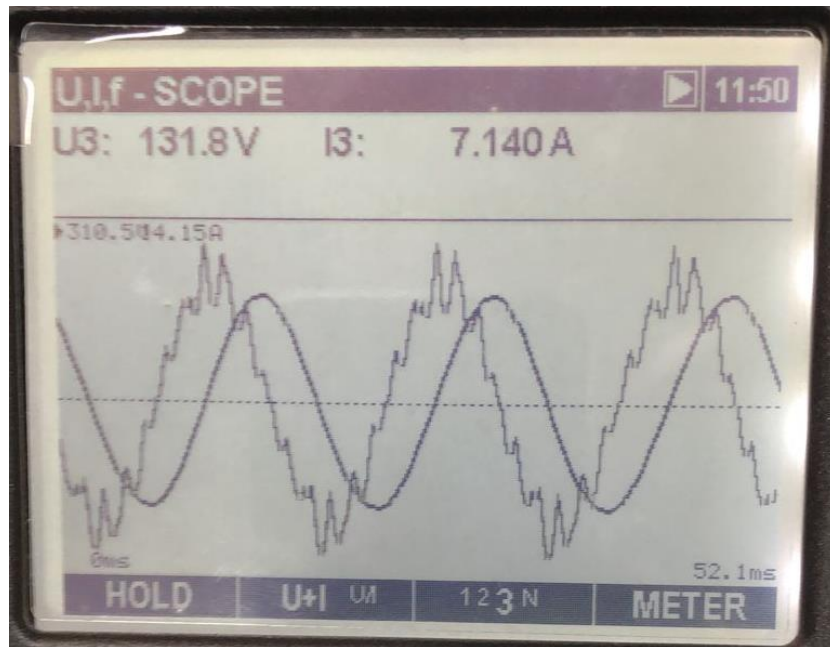


Figura 33 - Forma de onda da tensão U_3 e corrente I_3
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores

4.21 Cálculo de capacitor para corrigir cosseno de phi igual a 0,94 (u)

$$\varphi_2 = \cos^{-1}(0,94)$$

$$\varphi_2 = 19^\circ 56' 54,4''$$

$$Q_c = P(\tan(\varphi_t) - \tan(\varphi_2))$$

$$Q_c = P(\tan(74^\circ 52' 49,71'') - \tan(19^\circ 56' 54,4''))$$

$$Q_c = 783 * (3,70115 - 0,36295)$$

$$Q_c = 2613,81 \text{ VA}_r$$

No experimento foi deixado apenas o capacitor de 0,5 kVAr.

4.22 Cálculo de capacitor (v)

$$C = \frac{PRC (kVAr)}{V_{FF}^2 * 2\pi f 10^{-9}} (\mu F) \rightarrow C = \frac{2,61381 \text{ kVAr}}{220^2 * 2\pi * 60 \cdot 10^{-9}} (\mu F) \rightarrow C = 143,25 \mu F$$

4.23 Fator de potência (w)

Para realização deste item foi realizado o seguinte procedimento: acessou-se o modo de programação, clicando primeiro em “f0” e depois em “f1”. No modo de programação, pressionou-se “↑” até chegar-se a tela “Atuar nas saídas”, pressionando “f1” para entrar. Poderia acionar-se o capacitor correspondente ao calculado no item anterior, mas, no experimento, foi deixado apenas o capacitor de 0,5 kVAr, utilizando a tecla “↑” para finalizar pressionado “f1” para confirmar e “f4” para sair. No SMARTCAP485, o primeiro banco está desabilitado, devido a sua utilização ser outra, iniciando assim a partir do segundo. No manual do fabricante e roteiro de experimento, foi solicitado usar o SMARTCAP485 para medir o fator de potência (verificando se o calculado é próximo ao medido), porém, para este experimento, foi utilizado o analisador de qualidade de energia.



Figura 34 - Fator de potência após correção
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

$$\underline{FP_t: \quad 0,77000}$$

4.24 Formas de onda de tensão e corrente corrigidas (x)

Com o analisador de qualidade de energia foram obtidas formas de onda da tensão e da corrente.

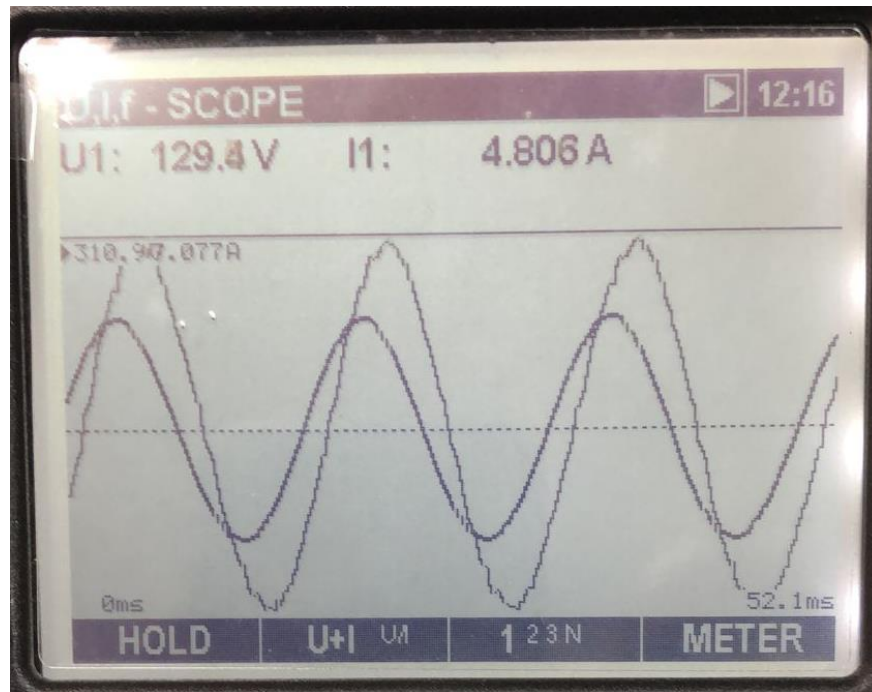


Figura 35 - Forma de onda da tensão U1 e corrente I1
Fonte: Arquivo pessoal dos autores



Figura 36 - Forma de onda da tensão U_2 e corrente I_2 corrigidas
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores



Figura 37 - Forma de onda da tensão U_3 e corrente I_3 corrigidas
 Fonte: Arquivo pessoal dos autores

4.25 Potências ativa total, reativa total e aparente total (y)

Orientação do experimento: “medir no SMARTCAP485 o valor da Potência ativa total, reativa total e aparente total. Pressionar a tecla “f4” e visualizar as informações referentes”

Foi usado valores de potências ativa total, reativa total e aparente total próximos aos especificados pelo fabricante:

W_t :	858 W
VA_{rt} :	310 VAR
VA_t :	921 VA

Tabela 10 - Valores de potência ativa total, potência reativas total e potência aparente total
Fonte: Elaborado pelos autores

4.26 Comparação entre triângulos de potência (z)

“Dados os parâmetros medidos em “f”, desenhe o triângulo de potência antes da correção e depois da correção.

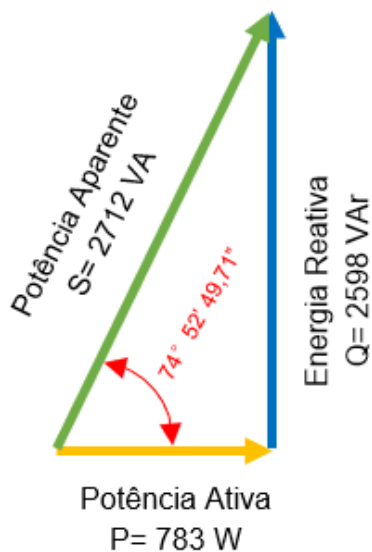


Figura 38 - Triângulo das Potências antes da correção
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

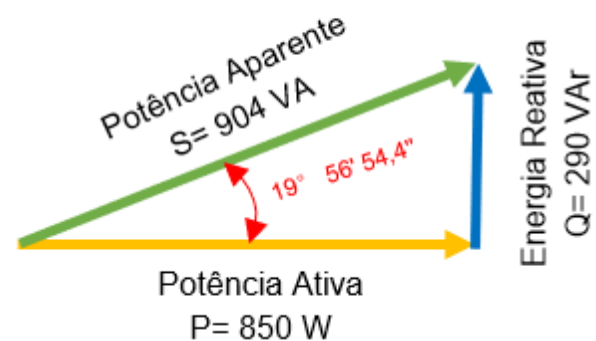


Figura 39 - Triângulo das Potências antes da correção
Fonte: Arquivo pessoal dos autores

Antes da Correção		Depois da Correção	
W_t :	783 W	W_{tcorr} :	850 W
VA_{rt} :	2598 VAR	VA_{rtcorr} :	290 VAR
VA_t :	2712 VA	VA_{tcorr} :	904 VA
FP :	0,28872	FP_{tcorr} :	0,94000
φ_t	74° 52' 49,71"	φ_{tcorr}	19° 56' 54,4"

Tabela 11 - Dados das potências, fatores de potência e ângulo de defasagem antes e depois da correção
 Fonte: Elaborado pelos autores

$$Q_c = 2613,81 VA_r$$

5 IMPORTÂNCIA DOS CÁLCULOS NO GERENCIAMENTO DE ENERGIA

Neste item será explicado a importância dos cálculos realizados como técnica de gerenciamento de energia.

5.1 Potência Ativa Total

Somatória das três potências ativas medidas, sendo os dados obtidos em cada uma das três fases. É medida em kW.

5.2 Potência Reativa Total

Somatória das três potências reativas medidas, sendo os dados obtidos em cada uma das três fases. É medida em kVAr.

5.3 Potência Aparente Total

Somatória das três potências aparentes medidas, sendo os dados obtidos em cada uma das três fases. A potência aparente é medida em KVA

5.4 Fator de Potência

O fator de potência é uma relação entre potência ativa e potência reativa por consequência energia ativa e reativa. Ele indica a eficiência com a qual a energia está sendo usada.

Quando o Fator de Potência é corrigido e elevado para 0,92 ou mais, a empresa passa a utilizar energia da forma mais correta e econômica, pois:

- Desaparece o acréscimo cobrado nas contas de energia elétrica;
- Melhora o aproveitamento da energia elétrica para geração de trabalho útil;
- Diminuem as variações de tensão (oscilações);
- Melhora o aproveitamento dos equipamentos com menos consumo;
- Aumenta a vida útil dos equipamentos;
- Os condutores tornam-se menos aquecidos, diminuindo as perdas de energia elétrica na instalação;

- Devido à liberação de carga, a capacidade dos transformadores alcança melhor aproveitamento.

Assim, os cálculos são imprescindíveis para comparação entre teoria e prática, de modo a fomentar a discussão sobre a qualidade da energia, bem como propor métodos mais eficazes, eficientes e efetivos para a gestão deste recurso.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da prática de laboratório sobre “Medição e caracterização de cargas” proporcionou a oportunidade real de experimento de caracterização de cargas indutivas, resultantes da utilização de kit didático para análise de energia, onde foram possíveis obtenção de dados de corrente, tensão, potência e formas de onda de corrente e tensão.

Com os dados coletados, deu-se início ao tratamento deles, inicialmente por meio de comparação quantitativa dos valores de tensão, corrente e potência elétrica e, em seguida, com a análise comparativa visual das formas de onda de corrente e tensão elétrica, seguida também por comparação quantitativa.

Também foram calculados os valores da potência total, embasados pelo desenvolvimento do triângulo das potências.

A estrutura metodológica para o desenvolvimento deste experimento foi arquitetada pelo Professor Dr. Hermon Leal Moreira, o qual também orientou a equipe durante a utilização dos equipamentos e coleta de dados, sempre seguindo padrões desempenho baseados em capacidades técnicas, sociais, organizativas e metodológicas, tendo atenção especial aos conceitos de saúde e segurança do trabalho.

Por fim, chegou-se ao consenso do conceito de imprescindibilidade da necessidade de análise de qualidade de energia, de modo qualitativo e quantitativo, de modo que um programa de eficiência energética possa ser implementado em uma organização, sendo este gerido por uma equipe de gestão de energia.

7 REFERÊNCIAS

DE BARROS, et al. Gerenciamento de Energia - Ações Administrativas e Técnicas de Uso Adequado da Energia Elétrica“ - São Paulo: Érica, 2016

BAGATTOLI, Sandro Geraldo. Gestão estratégica de energia elétrica. Blumenau: Edifurb, 2012.

BITENCOURT, Rodolfo Pontes; CARVALHO, Lucas Vicente. Demanda e fator de potência - XE501 - manual de operação e manutenção. Exsto Tecnologia Ltda., 2013.

ECCLESTON, Charles H.; MARCH, Frederic; COHEN, Timothy. Inside energy: developing and managing an ISO 50001 energy management system. Florida: CRC Press, 2011.

FLORAX, Raymond J.G.M.; GROOT, Henri L.F. de; MULDER, Peter. Improving energy efficiency through technology trends, investment behaviour and policy design. Massachussets: Edward Elgar, 2012.

SMITH, Craig B.; PARMENTER, Kelly E. Energy, management, principles: Applications, benefits, savings. Elsevier, 2013.