

LABORATÓRIO DE ELETROTÉCNICA GERAL I

EXPERIÊNCIA: ENERGIA, POTÊNCIA E FATOR DE POTÊNCIA (EP)

RELATÓRIO -

NOTA
.....

Grupo:.....

.....

.....

.....

Professor:..... Data:.....

Objetivo:.....

.....

.....

.....

1 - Considerações gerais

A parte experimental está organizada nas seguintes etapas:

- identificação dos componentes e equipamentos, onde o aluno deverá reconhecer todos os aparelhos e componentes que serão utilizados na experiência;
- caracterização dos resistores, bobinas e capacitores, onde será obtida a impedância complexa de cada um dos bipolos;
- cálculo das potências reativa e aparente absorvidas por cada bipolo;
- associação série-paralelo de resistor, bobinas e capacitores, onde serão estudados o fluxo de potência reativa em um circuito e a correção do fator de potência;
- visualização da tensão senoidal no osciloscópio e avaliação qualitativa do correspondente valor eficaz e período;
- visualização da defasagem entre tensão e corrente no resistor, capacitor e indutor.

Nota importante:

Nos próximos itens os resultados experimentais deverão ser lançados nas tabelas correspondentes. **Preencha somente as células das tabelas que tiverem fundo branco.** As células com fundo cinza destinam-se ao lançamento dos resultados indiretos da experiência, que deverão ser obtidos através de cálculos posteriores que não precisam ser realizados no laboratório. No relatório deverão constar também as respostas a todas as questões do item 9 (*Questões básicas*).

2 - Identificação dos componentes e equipamentos

Inicialmente, identifique os elementos que serão utilizados na experiência:

- painel de tensões;
- reostato;
- bobinas;
- capacitores;
- voltímetro;
- amperímetro;

- multímetro;
- wattímetro;
- VARIAC;

os quais serão discutidos brevemente a seguir.

Painel de tensões

A Figura 1 apresenta um esquema do painel do laboratório, de onde serão tomadas todas as tensões a serem utilizadas na experiência.

O terminal identificado pela letra N, **preto**, corresponde ao terminal neutro do sistema trifásico de tensões. No caso do laboratório, o terminal neutro está solidamente aterrado (potencial nulo em relação à terra). Os terminais identificados pelas letras A, B e C, **vermelhos**, correspondem às fases do sistema trifásico (terminais vivos). As tensões V_{AN} , V_{BN} e V_{CN} são denominadas **tensões de fase**, têm valor eficaz igual a 127 V e estão defasadas entre si de 120° no tempo (a frequência do sistema é 60 Hz). As tensões V_{AB} , V_{BC} e V_{CA} são denominadas **tensões de linha**, têm valor eficaz igual a 220 V e também estão defasadas entre si de 120° no tempo.

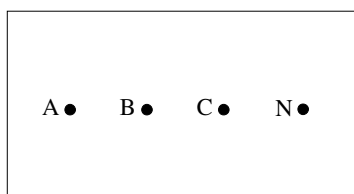


Figura 1 - Painel de tensões do laboratório

Importante:

Identifique os botões de Liga e Desliga no painel, bem como o botão de emergência que corta o fornecimento de energia à bancada. Em qualquer situação anormal, a primeira ação a ser tomada deverá ser apertar o botão de emergência .

Reostato, bobinas e capacitores

O reostato, as bobinas e os capacitores possuem somente dois terminais acessíveis, os quais são intercambiáveis (isto é, estes componentes não têm polaridade definida pelo fabricante). O reostato é simplesmente um resistor cuja resistência pode ser variada, através de um cursor, desde zero até seu valor máximo nominal. Em tudo quanto se segue, o reostato, as bobinas e os capacitores serão identificados pelas letras *R*, *L* e *C*, respectivamente.

Voltímetro, amperímetro e multímetro

O voltímetro e o amperímetro permitem medir o valor **eficaz** de tensões e correntes alternativas, respectivamente. Lembre que o voltímetro deve ser ligado **em paralelo** com os terminais entre os quais se quer determinar a tensão elétrica.

O amperímetro é do tipo alicate, no qual a informação da corrente é obtida através de um circuito magnético (alicate) que é sensível à variação temporal do campo magnético produzido pela corrente em um condutor colocado no interior do alicate.

O multímetro permite medir, como o próprio nome indica, várias grandezas tais como tensão, corrente e resistência elétrica.

Wattímetro

O wattímetro permite medir a potência ativa por ele passante; esta potência é o valor **médio** da potência instantânea passante. Ele possui uma bobina de tensão e uma bobina de corrente, sendo que a bobina de corrente obtém a informação através de um alicate. A informação da tensão é obtida externamente através de dois cabos auxiliares que conectam os pontos de tensão aos terminais da bobina de tensão do wattímetro.

A leitura do wattímetro será negativa se uma das bobinas (tensão ou corrente) não estiver com a polaridade correta; neste caso, inverta o sentido do condutor dentro do alicate, ou então inverta a ligação da bobina de tensão.

VARIAC

O VARIAC é simplesmente um transformador com relação variável entre o número de espiras no enrolamento primário e o número de espiras no enrolamento secundário. Assim, para uma tensão de alimentação fixa (por exemplo 127 V), atuando-se no controle do VARIAC pode-se obter uma tensão de saída variável continuamente entre 0 e 140 V. O VARIAC monofásico possui **pelo menos** 4 terminais: 2 de entrada e 2 de saída. Para identificar corretamente todos os terminais, consulte as instruções gráficas no chassi do aparelho ou, em sua ausência, consulte o professor responsável.

3 - Caracterização dos resistores, bobinas e capacitores

Nesta etapa deverão ser calculadas as impedâncias complexas do reostato, bobinas e capacitores, utilizando o circuito representado na Figura 2.

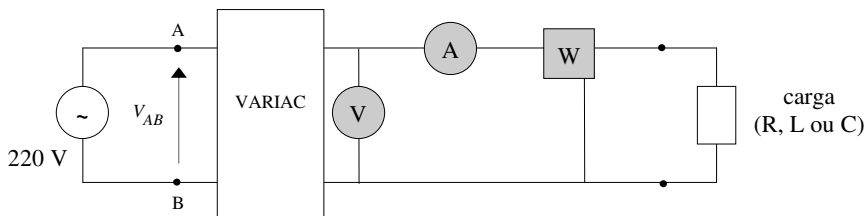


Figura 2 - Circuito para medição de impedância (reostato, bobina ou capacitor)

Pela definição de impedância complexa, tem-se:

$$\bar{Z} = \frac{\dot{V}}{\dot{I}} = Z \angle \varphi ,$$

em que:

\bar{Z} = impedância complexa do bipolo em consideração (Ω);

\dot{V} = fasor associado à tensão senoidal de valor eficaz V ;

\dot{I} = fasor associado à corrente senoidal de valor eficaz I ;

$Z = \frac{V}{I}$ = módulo da impedância (Ω);

$$\varphi = \arccos\left(\frac{P}{V \cdot I}\right) = \text{ângulo da impedância complexa};$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{V \cdot I} = \text{fator de potência do bipolo};$$

$$P = \text{potência ativa absorvida pelo bipolo (W)}.$$

Conclui-se que para a determinação da impedância complexa é necessário medir as grandezas V , I e P . Efetue tais medições nos seguintes casos: (i) reostato na posição de máxima resistência, (ii) duas bobinas ligadas em série, e (iii) dois capacitores de $10 \mu\text{F}$ ligados em paralelo (Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente). Vários valores de tensão são considerados com a finalidade de verificar a linearidade (ou não-linearidade) dos bipolos, isto é, a constância (ou não) da relação V/I para diferentes valores de tensão de alimentação.

Tabela 1 - Impedância complexa do reostato (posição de máxima resistência)

Tensão V (V)	Corrente I (A)	Pot. ativa P (W)	Impedância complexa			
			Forma polar		Forma retangular	
			Módulo Z (Ω)	Ângulo φ ($^\circ$)	Resistência R (Ω)	Reatância X (Ω)
50						
100						
150						
200						

Tabela 2 - Impedância complexa de duas bobinas ligadas em série

Tensão V (V)	Corrente I (A)	Pot. ativa P (W)	Impedância complexa			
			Forma polar		Forma retangular	
			Módulo Z (Ω)	Ângulo φ ($^\circ$)	Resistência R (Ω)	Reatância X (Ω)
50						
100						
150						
200						

Tabela 3 - Impedância complexa de dois capacitores de 10 μF ligados em paralelo

Tensão V (V)	Corrente I (A)	Pot. ativa P (W)	Impedância complexa			
			Forma polar		Forma retangular	
			Módulo Z (Ω)	Ângulo φ ($^\circ$)	Resistência R (Ω)	Reatância X (Ω)
50						
100						
150						
200						

4 - Cálculo das potências reativa e aparente

Para cada um dos casos do item precedente (reostato, bobinas e capacitores) determine as potências reativa e aparente absorvidas correspondentes a cada tensão de alimentação, preenchendo as Tabelas 4, 5 e 6.

Potência aparente: $S = V \cdot I$ (VA);

Potência reativa: $Q = \pm\sqrt{S^2 - P^2}$ (VAr) ($Q > 0$ para carga indutiva).

Tabela 4 - Potências reativa e aparente para o reostato (posição de máxima resistência)

Tensão V (V)	Corrente I (A)	Pot. ativa P (W)	Pot. aparente S (VA)	Pot. reativa Q (VAr)
50				
100				
150				
200				

Tabela 5 - Potências reativa e aparente para as bobinas ligadas em série

Tensão V (V)	Corrente I (A)	Pot. ativa P (W)	Pot. aparente S (VA)	Pot. reativa Q (VAr)
50				
100				
150				
200				

Tabela 6 - Potências reativa e aparente para os capacitores ligados em paralelo

Tensão V (V)	Corrente I (A)	Pot. ativa P (W)	Pot. aparente S (VA)	Pot. reativa Q (VAr)
50				
100				
150				
200				

6 - Associação série-paralelo de reostato, bobinas e capacitores

Neste item será estudado o circuito RLC série-paralelo no qual serão considerados diversos valores de capacitância. Execute os passos a seguir:

1. monte o circuito da Figura 3 com todos os capacitores inicialmente desligados;
2. ajuste a tensão de saída do VARIAC em 100 V;
3. ajuste o reostato de forma que a corrente I_2 seja igual a 1 A;
4. preencha a primeira linha da Tabela 7;
5. mediante o fechamento conveniente das chaves dos capacitores, obtenha sucessivamente as capacitâncias indicadas na primeira coluna da Tabela 7. Preencha as linhas da tabela com os valores medidos de corrente e potência.

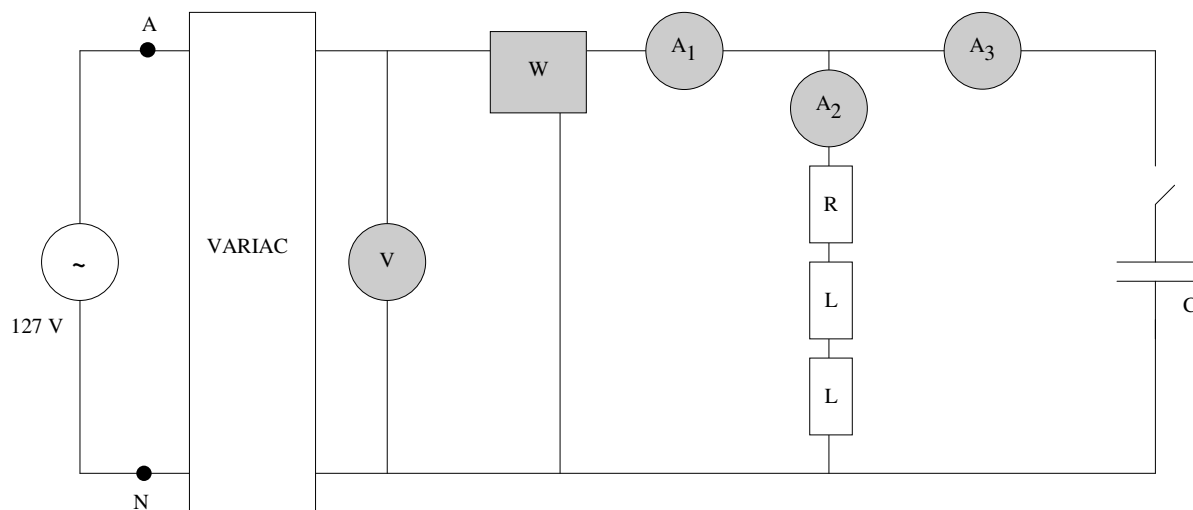


Figura 3 - Circuito RLC série-paralelo

Tabela 7 - Medições de corrente e potência ativa no circuito RLC série-paralelo

Capacitância (μF)	Correntes (A)			Potência ativa (W)
	I_1	I_2	I_3	
0	1,000	1,000	0	
5				
10				
15				
20				
25				
30				
35				
40				

7 - Análise da forma de onda das tensões (DEMONSTRATIVA)

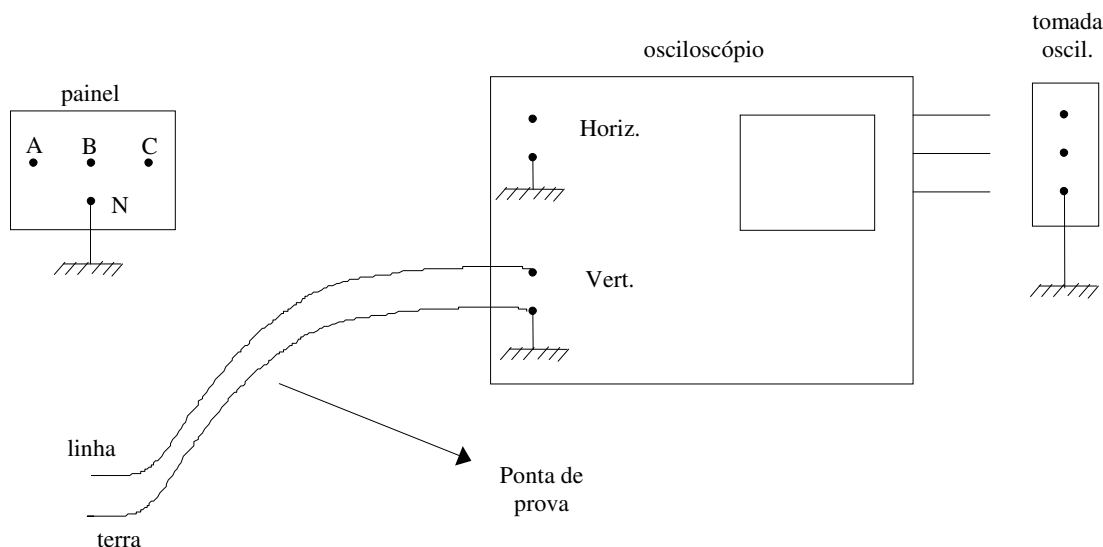


Figura 4 - Ligações do osciloscópio e painel de terminais do laboratório

Esta situação exige cuidados especiais com a ponta de prova: se o terminal terra da mesma for ligado a qualquer um dos terminais vivos do painel (fases do sistema trifásico), um curto-circuito se fechará através da carcaça do osciloscópio (a corrente elétrica terá um caminho de baixa impedância entre o terminal vivo e o terminal neutro do painel). **Portanto, nunca ligue o terminal terra da ponta de prova a nenhum terminal vivo do painel.**

Observe a forma de onda das tensões do painel. Efetue medições de tensão e período, anotando os valores na Tabela 8 e comparando-os com os correspondentes valores de referência. O valor de referência da tensão eficaz de fase (V_{AN}) deverá obtido ser medido com o voltímetro.

Tabela 8 - Análise das tensões do painel

Parâmetro	Valor de referência	Valor observado
Tensão de fase V_{AN} (V)		-----
Tensão pico a pico (V)	$2 \cdot \sqrt{2} \cdot V_{AN} =$	
Período da senoide (ms)	$\frac{1}{60} \cdot 1000 = 16,667$	

8 - Visualização da defasagem entre tensão e corrente no resistor, indutor e capacitor (DEMONSTRATIVA)

Nesta etapa será analisada a defasagem entre tensão e corrente no resistor, indutor e capacitor. Desenhe no espaço abaixo cada uma das situações analisadas (circuito e resultados).

9 - Questões básicas

- Coloque em um gráfico a característica externa [$V = f(I)$] dos 3 bipolos analisados (Tabelas 1, 2 e 3). Quais bipolos são lineares e quais são não-lineares? Quais são as razões da não-linearidade?
- Utilizando a última linha da Tabela 3 (200 V) calcule a capacitância de um capacitor e compare o valor obtido com o correspondente valor nominal. Comente a eventual discrepância entre os dois valores.
- Para o circuito RLC série-paralelo coloque em um gráfico a curva das correntes I_1 , I_2 e I_3 em função do número de capacitores ligados (dados da Tabela 10).
 - Por que a curva da corrente I_1 apresenta um mínimo?
 - Determinar, a partir do gráfico da corrente I_1 , a capacitância para a qual a corrente é mínima e o valor dessa corrente. Compare ambos valores com os valores teóricos esperados que podem ser obtidos a partir dos valores de impedância do resistor e das bobinas.
 - Para uma linha qualquer da Tabela 7 verifique se é possível comprovar a primeira Lei de Kirchhoff utilizando as correntes I_1 , I_2 , e I_3 , justificando adequadamente caso isso não seja possível.
- Para a última linha da Tabela 7 (40 μF), calcule as potências reativa e aparente fornecidas pela rede elétrica e o fator de potência.
- Um consumidor industrial possui a curva diária de carga representada na Figura 5. Considerando que nos fins-de-semana a demanda cai 60% em todos os períodos do dia, pede-se determinar:
 - a energia mensal absorvida pelo consumidor;
 - o fator de carga do consumidor;
 - o valor da conta mensal de energia elétrica do consumidor considerando tarifa binômica com preços de energia e de demanda máximas iguais a 0,035 R\$/kWh e 3,4 R\$/kW no mês, respectivamente.

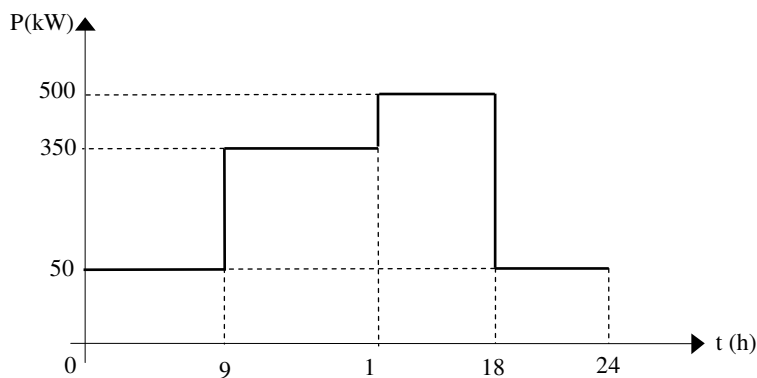


Figura 5 - Curva diária de carga

- Uma carga monofásica alimentada em 380 V, 60 Hz absorve 25 kW com fator de potência 0,8 indutivo. Pede-se determinar o valor do capacitor a ser instalado em paralelo de forma a conduzir o fator de potência aos valores: 0,9 indutivo; 1,0; 0,9 capacitivo.