

Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
FEELT

LABORATÓRIO - CIRCUITOS EQUILIBRADOS

Relatório da Disciplina de Experimental de Circuitos Elétricos II
por

Lesly Viviane Montúfar Berrios
11811ETE001

Prof. Wellington Maycon Santos Bernardes
Uberlândia, Outubro / 2019

Sumário

1	Objetivos	2
2	Introdução teórica	2
2.1	Carga em conexão em estrela	3
2.2	Carga em conexão em delta ou triângulo	4
3	Preparação	4
3.1	Materiais e ferramentas	4
3.2	Montagem	5
3.2.1	Carga em estrela	5
3.2.2	Carga em delta	7
4	Análise sobre segurança	7
5	Cálculos, análise dos resultados e questões	7
6	Simulação computacional	8
6.1	Carga em conexão estrela	8
6.2	Carga em conexão delta	9
7	Conclusões	9

1 Objetivos

Verificar experimentalmente os conceitos teóricos sobre as relações existentes entre tensões de fases V_F e de linhas V_L em cargas ligadas em estrela, e correntes de fases I_F e de linhas I_L em cargas ligadas em triângulo. Além disso, comparar os resultados com os valores obtidos utilizando uma análise teórica.

2 Introdução teórica

As primeiras linhas de transmissão de energia elétrica, que surgiram no final do século XIX, destinavam-se exclusivamente ao suprimento do sistema de iluminação, pequenos motores e sistema de tração (railway) e operavam em corrente contínua a baixa magnitude de tensão. A geração e transmissão usando os mesmos níveis de tensão das diferentes cargas restringiu a distância entre a planta de geração e os consumidores e a tensão da geração em corrente contínua não podia ser facilmente aumentada para a transmissão a grandes distâncias [1].

Para realizar uma transmissão de energia elétrica a grandes distâncias era necessário um nível elevado de magnitude de tensão, e essa tecnologia de conversão para corrente contínua não era viável naquela época. Por isso, foi necessária a mudança da transmissão de corrente contínua para corrente alternada, devido principalmente aos seguintes motivos:

- O desenvolvimento e uso dos transformadores, permitindo a transmissão a grandes distâncias usando altos níveis de tensão, reduzindo as perdas elétricas dos sistemas e a queda de tensão.
- A elevação/redução da magnitude de tensão é realizado com uma alta eficiência e a baixo custo através dos transformadores.
- Surgimento de geradores e motores em corrente alternada, construtivamente mais simples, eficientes e baratos que as máquinas em corrente contínua

Assim, a corrente alternada seria a melhor alternativa para a transmissão de energia elétrica à grandes distâncias. Além disso, introduz-se o conceito de gerador trifásico, ilustrado pela Figura 1, no qual três bobinas defasadas em 120 graus elétricos no espaço geram um conjunto de três tensões de mesmo valor máximo, defasadas de 120 graus elétricos no tempo.

Um gerador trifásico aproveita melhor o espaço físico, resultando em um gerador de tamanho reduzido e mais barato, comparado com os geradores monofásicos de igual potência, ademais são superiores aos motores monofásicos em rendimento, tamanho, fator de potência e capacidade de sobrecarga. Um sistema monofásico

precisa de dois condutores; e um sistema trifásico (perfeitamente balanceado) precisa de três condutores, porém conduz três vezes mais potência. Na prática, devido a pequenos desequilíbrios inevitáveis, os sistemas trifásicos contam com um quarto condutor, o neutro.

É possível conectar as bobinas de gerador trifásicos em configuração estrela ou delta, assim como a carga em *Conexão em estrela*(2.1) ou *Conexão em delta/triângulo*(2.2).

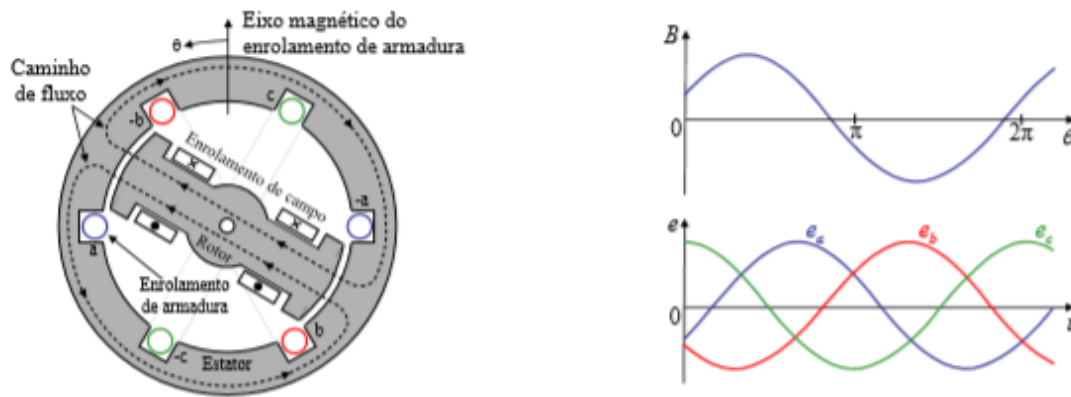


Figura 1: Geração de tensão alternada trifásica.

2.1 Carga em conexão em estrela

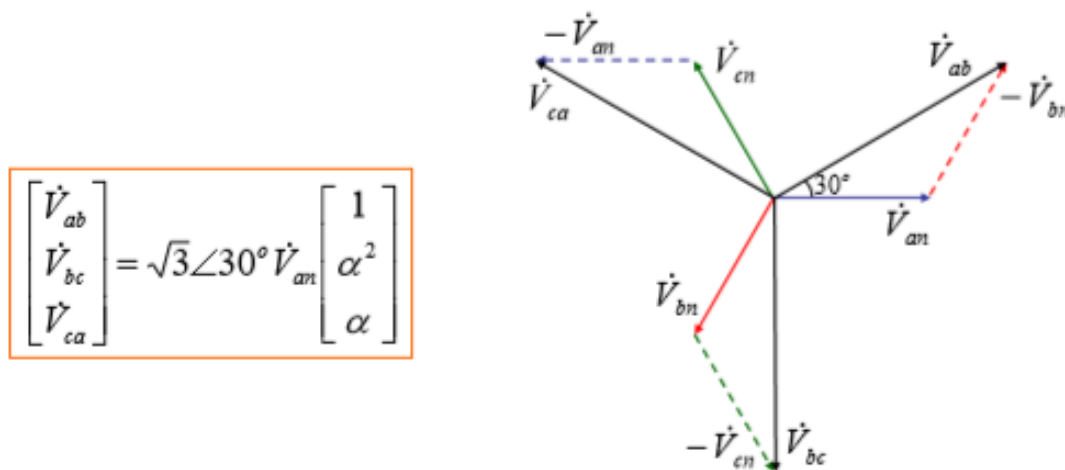


Figura 2: Relação entre tensão de linha e fase numa carga em estrela.

2.2 Carga em conexão em delta ou triângulo

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \sqrt{3} \angle -30^\circ \dot{I}_{ab} \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha^2 \\ \alpha \end{bmatrix}$$

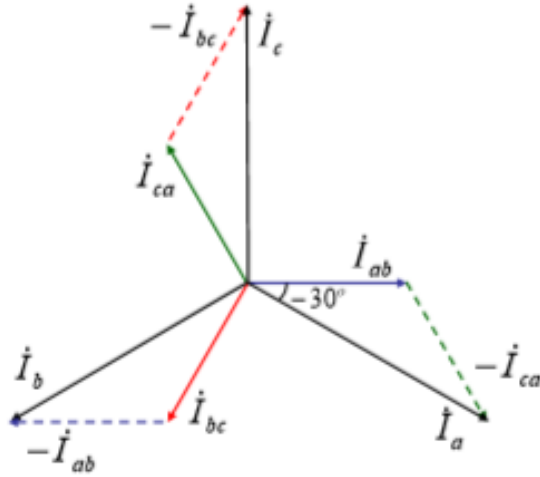


Figura 3: Relação entre corrente de linha e fase numa carga em delta.

3 Preparação

3.1 Materiais e ferramentas

- 1 - **Fonte:** Alimentará todo o circuito. Possui frequência de $60Hz$.
- 2 - **Regulador de tensão (Varivolt):** Também chamado de autotransformador, permitirá obter o valor desejado de corrente a partir da regulação correta da tensão fornecida pela fonte.
- 3 - **Conectores:** Para as conexões no circuito foi utilizado majoritariamente cabos banana-banana.
- 4 - **Medidor eletrônico KRON Mult K:** Possibilita encontrar a medição da potência real (P) - vatímetro, reativa (Q) e aparente (S) do circuito. Ele também possui função de cofasímetro, instrumento elétrico que mede o fator de potência (fp , $\cos\theta$) ou o ângulo da impedância θ do circuito, para um circuito com a impedância $Z = Z \angle \theta$.
- 5 - **Amperímetro analógico AC:** Instrumento utilizado para acompanhar visualmente o aumento da corrente.
- 6 - **Reatores de 160 mH:** Foram utilizados 3, para compor a carga do circuito trifásico. Sendo $L = 160mH$ e $R_L = 3,8\Omega$.
- 7 - **Resistores de 50Ω:** Foram utilizados 3, para compor a carga do circuito trifásico.

3.2 Montagem

3.2.1 Carga em estrela

Observe a montagem indicada na Figura 4 abaixo, alimentando os pontos a b c n através de uma fonte alternada trifásica em seqüência de fases abc (ou direta), aplicando uma tensão entre linhas V_L igual a 100 V, em frequência de 60 Hz.

Os parâmetros da carga são: $R = 50\Omega$; $R_L = 3,8\Omega$; $L = 160mH$. Na Figura 4, V_L representa um voltímetro conectado para medir a tensão entre linhas (fases ab); V_F representa um voltímetro conectado para medir a tensão de fase (fases cn, por exemplo); A_L representa um amperímetro conectado para medir a corrente de linha (igual a de fase) e; A_N representa um amperímetro conectado para medir a corrente no fio neutro.

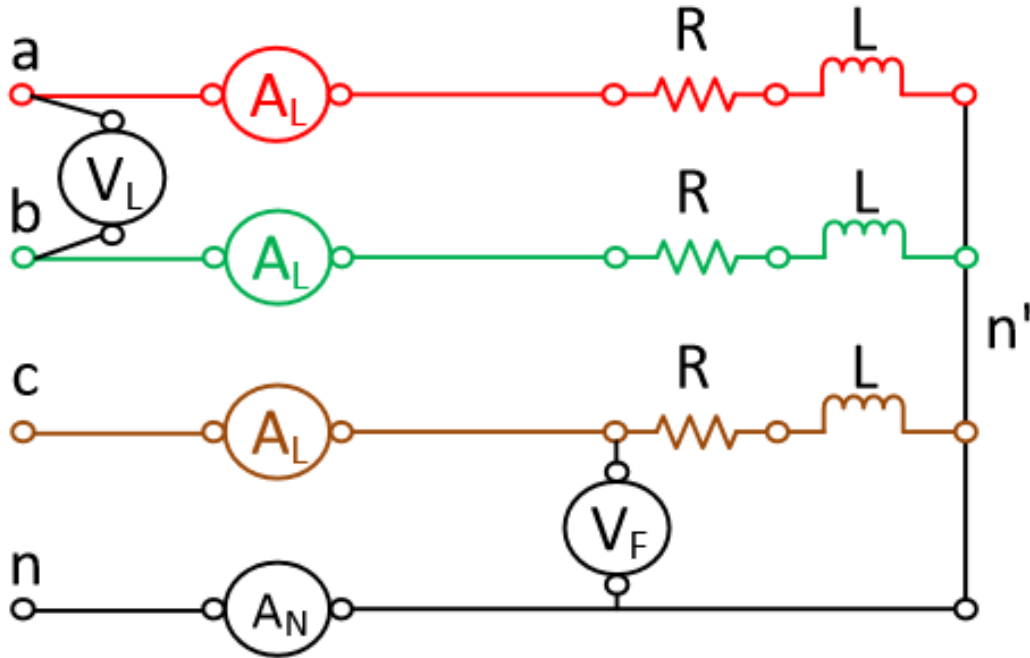


Figura 4: Ligação em estrela em seqüência de fases abc ($n = n'$).

Observa-se pelo desenho que não é possível obter a tensão e corrente de todas as fases de forma simultânea, sendo necessária a mudança dos medidores V_L e V_F para a obtenção dos demais valores. Para isso, utilizaremos o medidor trifásico eletrônico *Kron Mult-K* (wattímetro), usando as entradas V_A , V_B , V_C , V_N para as medidas de tensão e I_A , I_B e I_C para as medidas de corrente, assim sendo, realizando as ligações apropriadas. Como o *Kron* não mede a corrente de neutro, então é necessário um amperímetro analógico AC entre n e n' .

Tabela 1: Conexão em estrela com neutro conectado.

$V_L(V)$	$V_{-F}(V)$	$I_L(A)$	$I_N(A)$	$P_F(W)$	$P_T(W)$	$Q_F(Var)$	$Q_T(Var)$	$S_F(VA)$	$S_T(VA)$
100,3	59,6	0,636	0	22,42	67,26	28,4	85,2	36,18	108,5
100,3	59,6	0,636		22,42		28,4		36,18	
100,3	59,6	0,636		22,42		28,4		36,18	

Tabela 2: Conexão em estrela sem neutro conectado.

$V_L(V)$	$V_{-F}(V)$	$I_L(A)$	$I_N(A)$	$P_F(W)$	$P_T(W)$	$Q_F(Var)$	$Q_T(Var)$	$S_F(VA)$	$S_T(VA)$
100,4	57,9	0,627	-	22,64	67,92	28,29	84,87	36,23	108,7
100,4	57,9	0,627		22,64		28,29		36,23	
100,4	57,9	0,627		22,64		28,29		36,23	

Parâmetros do Kron Mult-K

$TP = TC = 1.00$

 $TL^1 = 0000$ (Trifásico com Neutro “Estrela” – 3 Elementos 4 Fios)**Uma corrente por fase (3); Três tensões e o sinal de neutro (4)**

Com o *Kron Mult-K* configurado com os parâmetros acima, foi possível obter as grandezas das Tabelas 1 e 2, sendo a primeira com neutro conectado e a segunda sem neutro conectado.

Agora, conecte somente I_A , V_A e V_N do medidor eletrônico *Kron Mult-K*, e encontre os valores da Tabela 3 e 4 com a seguinte configuração:

$TP = TC = 1.00$

 $TL = 0003$ (Trifásico Equilibrado – 1 Elemento 2 Fios)**Uma corrente de fase A (1); Sinal de tensão da fase A e neutro (2)****Limitações: somente aplicável para sistemas equilibrados.**

Tabela 3: Conexão em estrela com neutro conectado (0003 - sistema equilibrado).

$V_L(V)$	$V_{-F}(V)$	$I_L(A)$	$I_N(A)$	$P_F(W)$	$P_T(W)$	$Q_F(Var)$	$Q_T(Var)$	$S_F(VA)$	$S_T(VA)$
100,4	57,96	0,636	0	67,38	202,14	87,46	262,38	110,7	332,1
100,4	57,96	0,636		67,38		87,46		110,7	
100,4	57,96	0,636		67,38		87,46		110,7	

Tabela 4: Conexão em estrela sem neutro conectado (0003 - sistema equilibrado).

$V_L(V)$	$V_{L-F}(V)$	$I_L(A)$	$I_N(A)$	$P_F(W)$	$P_T(W)$	$Q_F(Var)$	$Q_T(Var)$	$S_F(VA)$	$S_T(VA)$
100,0	57,74	0,634	-	66,89	200,67	87,03	261,90	109,6	328,8
100,0	57,74	0,634		66,89		87,03		109,6	
100,0	57,74	0,634		66,89		87,03		109,6	

3.2.2 Carga em delta

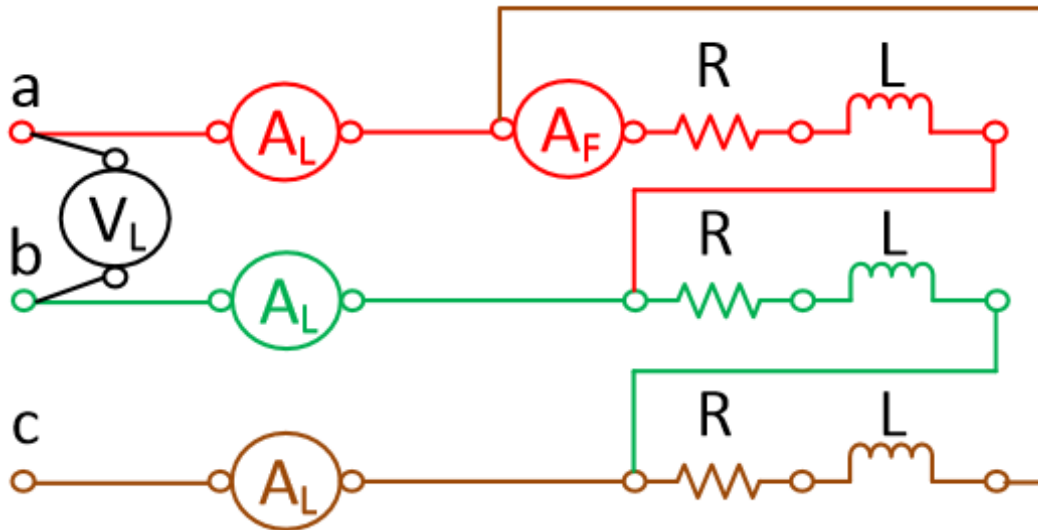


Figura 5: Ligação em triângulo em sequência de fases abc (convencional).

4 Análise sobre segurança

Os óculos de segurança são Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e são utilizados para a proteção da área ao redor dos olhos contra qualquer tipo de detrito estranho, que possa causar irritação ou ferimentos. Também protegem contra faíscas, respingos de produtos químicos, detritos, poeira, radiação e etc [4]. É importante a utilização desse equipamento durante os experimentos a fim de evitar qualquer dano, além de preparar o profissional para o manejo correto e seguro de qualquer equipamento. Além disso, foi de extrema importância a presença do professor ou técnico na verificação da montagem do circuito antes de energizá-lo. Assim, reduziu-se riscos de curtos-circuitos ou sobrecarga na rede.

5 Cálculos, análise dos resultados e questões

- 1) Verifique a relação entre as tensões de fase (V_F) e de linha (V_L) obtidas a partir da montagem da Figura 4

Resposta. Da primeira montagem tem-se $V_L = 100,3$ e $V_F = 59,06$, do que se confirma a relação $V_L = V_F \cdot \sqrt{3}$ da Figura 2.

- 2) Para o sistema equilibrado da Figura 4, a soma das correntes no ponto “n” deveria ser igual ou muito próximo a zero para as tensões senoidais aplicadas. Isto aconteceu? Explique.

Resposta. Na primeira montagem, o amperímetro analógico constatou-se que a corrente que vai para o neutro $A_N \sim 0$.

6 Simulação computacional

6.1 Carga em conexão estrela

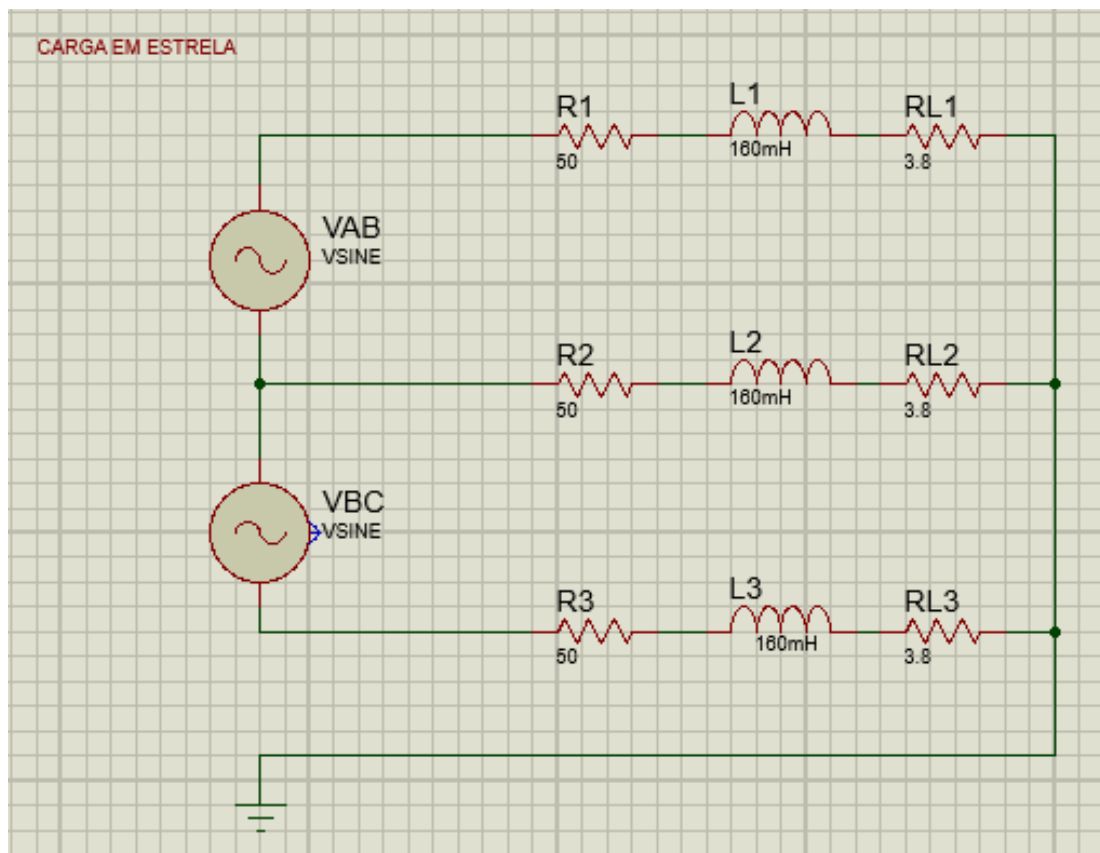


Figura 6: Circuito da carga em conexão estrela.

6.2 Carga em conexão delta

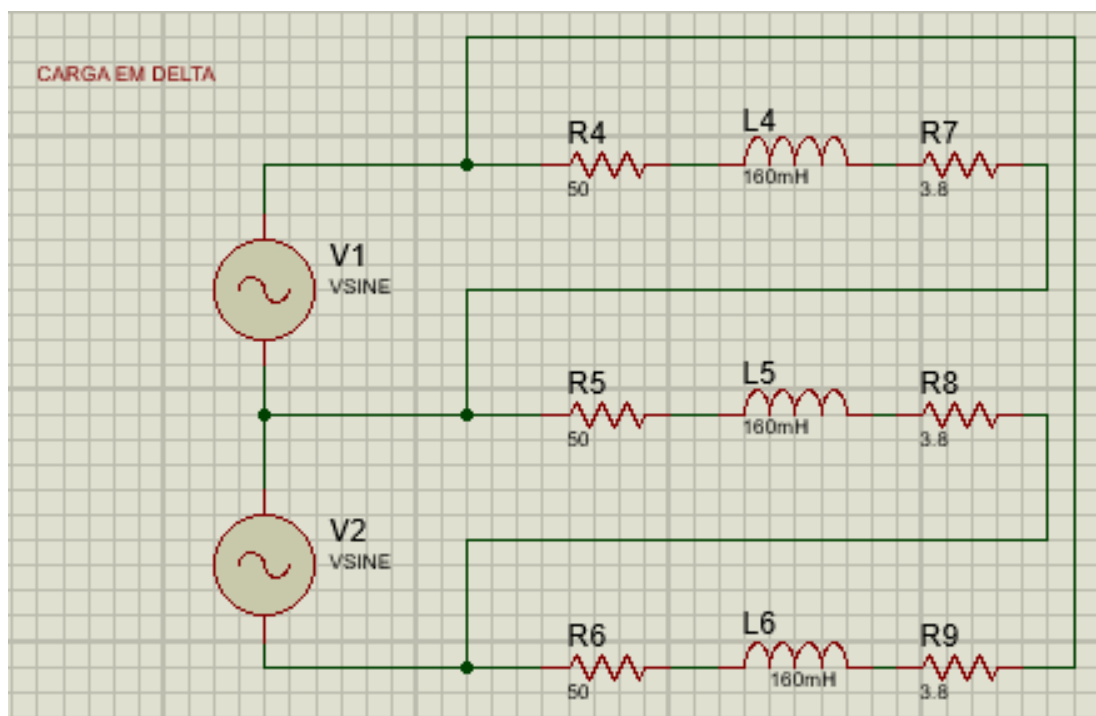


Figura 7: Circuito da carga em conexão delta.

7 Conclusões

Referências

- [1] P. H. O. Rezende, "Circuitos Polifásicos Equilibrados", 2018.
- [2] J. D. Irwin, "Análise de Circuitos Em Engenharia", Pearson, 4ª Ed., 2000.
- [3] R. L. Boylestad, "Introdução À Análise de Circuitos", Pearson, 10ª Ed., 2004.
- [4] SafetyTrabi, "Óculos de segurança: Saiba quando utilizar este EPI", SafetyTrab, 2019. Disponível em: <https://www.safetytrab.com.br/blog/oculos-de-seguranca/>. Acesso em: ago. 2019.