



## CONTRIBUIÇÃO DO PET PARA O APRENDIZADO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS EM CORRENTE ALTERNADA USANDO O SCILAB

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5254

**Autores:** RONAN MARCELO MARTINS, ANGELO GABRIEL VASCONCELOS DO NASCIMENTO

**Resumo:** *O presente trabalho tem como objetivo fortalecer o ensino e facilitar a aprendizagem da unidade curricular de "Circuitos Elétricos em Corrente Alternada" por meio da codificação da sua ementa base utilizando a plataforma computacional Scilab, tendo como público-alvo os estudantes das engenharias, Elétrica, Computação e, Controle e Automação. A motivação para o desenvolvimento desse trabalho é consequência das observações das monitorias tutoriadas no âmbito do Programa de Educação Tutorial (PET)/MEC que indicam dificuldades de aprendizagem no mencionado tema. Segundos os apontamentos dos monitores, na maioria das vezes, esses obstáculos são, notoriamente, difíceis de serem superados, fazendo com que os estudantes tenham que buscar aula extra de forma a aprimorar o seu aprendizado que nem sempre encontram algo eficiente de forma fácil e gratuita. Nesse contexto e com o propósito de aumentar a eficiência no ensino e na aprendizagem, a metodologia empegada baseou-se no desenvolvimento de um programa computacional de código aberto no Scilab, de fácil acesso, gratuito, simples de manusear e vinculado a ementa da disciplina. Além disso, a plataforma computacional Scilab é dotada de várias funções matemáticas, extremamente, úteis no ensino de engenharia. O programa desenvolvido neste trabalho foi testado em cinco estudos de caso cujos resultados mostraram-se alinhados à teoria de circuitos elétricos e, portanto, a codificação implementada é confiável. Por fim, com este trabalho, acredita-se que o PET tenha atingido o seu objetivo, contribuindo para o fortalecimento do ensino e da aprendizagem nas engenharias.*

**Palavras-chave:** *sinais instantâneos, impedância, fasores, correção do fator de potência, ementa*

# CONTRIBUIÇÃO DO PET PARA O APRENDIZADO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS EM CORRENTE ALTERNADA USANDO O SCILAB

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho é resultado das monitorias tutoriadas no âmbito do Programa de Educação Tutorial (PET)/MEC, tendo como público-alvo os estudantes das engenharias, Elétrica, Computação e, Controle e Automação. O objetivo é codificar a ementa base da unidade curricular “Circuitos Elétricos em Corrente Alternada” usando o Scilab.

O mencionado PET/MEC tem abrangência interdisciplinar, podendo seus integrantes pertencerem aos Cursos das Engenharias de Controle e Automação, Elétrica e Computação como também dos Cursos de Tecnologia em Redes de Computadores e Automação Industrial. O tema norteador do PET é a área da Robótica como estratégia de integrar a interdisciplinaridade presente na sua composição. A estratégia adotada no planejamento e a respectiva execução das suas atividades como, por exemplo, recepção dos calouros, monitoria, sessões técnicas, pesquisa, oficinas técnicas tecnológicas, atividades com a comunidade, ações de caráter coletivo, tais como, “Maratona de Robótica” e a “Olimpíada Brasileira de Robótica” (OBR), eventos que garantem a indissociabilidade ensino-pesquisa-extensão. Em linhas gerais, as ações do PET visam fortalecer a graduação, combater à evasão, promover estímulos nos estudantes para estudos de temas avançados e na formação da consciência da cidadania.

Neste contexto, o atual projeto alinha-se à missão do PET, isto é, contribuir para o fortalecimento da graduação que, neste caso específico, ocorreu por meio da aplicação de uma estratégia que visa reduzir as dificuldades de aprendizado evidenciadas ao longo do desenvolvimento da unidade curricular de Circuitos Elétricos em Corrente Alternada e, adicionalmente, pautada pelas observações das monitorias exercidas pelos integrantes do Programa de Educação Tutorial (PET). Entre os obstáculos da aprendizagem, citam-se, como exemplo, aplicação de conceitos matemáticos, compreensão dos parâmetros que compõem os sinais instantâneos da tensão, corrente e potência. Mesmo com a monitoria e a aula, propriamente dita, muitas das vezes, esses obstáculos são, notoriamente, difíceis de serem superados, fazendo com que os estudantes tenham que buscar aula extra de forma a aprimorar o seu aprendizado que nem sempre encontram algo eficiente de forma fácil e gratuita.

Diante desse cenário e com o propósito de aumentar a eficiência no aprendizado da mencionada unidade curricular, a metodologia a ser exposta baseou-se no uso de um programa computacional como instrumento facilitador da aprendizagem de forma gratuita, acessível, aberto, simples de utilizar e confiável.

É sabido que existem diversas plataformas de software científico como Matlab, Octave, Scilab, entre outras, que possuem código aberto e são projetadas para computação científica, análise de dados e, devido a quantidade de funções matemáticas, são plataformas computacionais extremamente úteis para o ensino de engenharia. Dessa forma, a estratégia adotada foi a utilização do Scilab para o ensino da unidade curricular de Circuitos Elétricos em Corrente Alternada, tendo como base a ementa da respectiva disciplina, tendo como referências básicas (BOYLESTAD, 2009), (NILSSON, 2018), (IRWIN, 2013), página oficial do Scilab (2024), apostila de introdução ao Scilab (SILVA, 2024) e ementa da citada unidade curricular.

A seguir será apresentada a metodologia empregada que, em linhas gerais, implementa a ementa da disciplina “Circuitos Elétricos em Corrente Alternada” em forma de códigos escritos na linguagem textual “script” do Scilab.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Ementa básica da unidade curricular de circuitos elétricos

A ementa base é constituída pelos seguintes itens: a) parâmetros dos sinais elétricos instantâneos de  $v(t)$ ,  $i(t)$  e  $p(t)$  em regime permanente estacionário; b) dispositivos elétricos fundamentais, resistor, indutor e capacitor; c) notação fasorial; d) impedância; d) triângulo de potência e; f) correção de fator de potência.

### 2.2 Preparação da codificação da ementa no scilab

As entradas do programa correspondem aos parâmetros referentes aos sinais de tensão, corrente e potência, tais como, valores máximos e instantâneos, defasamentos, frequência do sistema, valores em determinados instantes, número de períodos e em que instante a tensão e a corrente atingem um determinado valor. “A Figura 1” mostra o console do Scilab com as respectivas entradas do programa.

Figura 1 – Dados de entrada do programa.

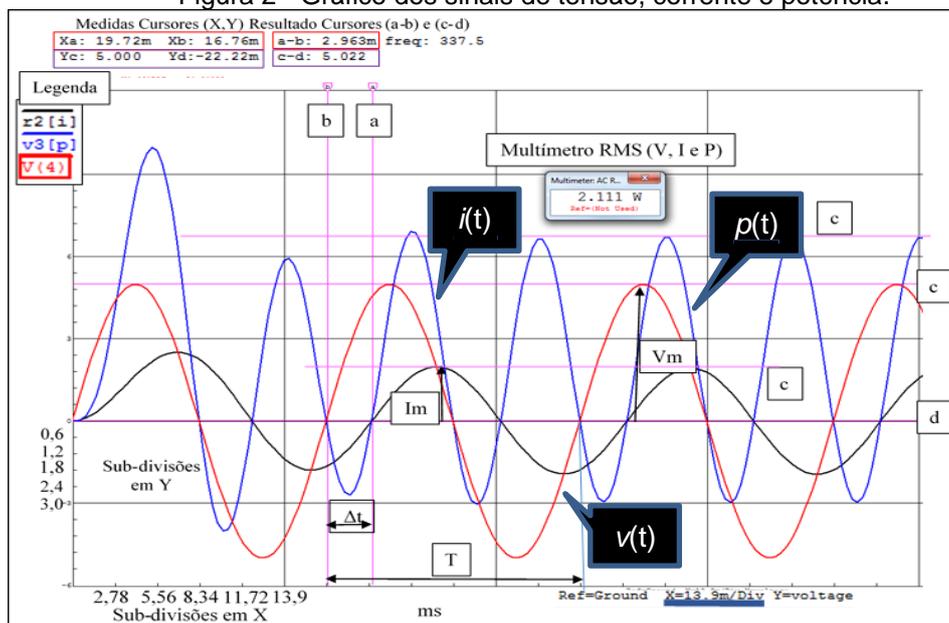
```

Entre com a frequência [HZ] -->
Entre com o valor da tensão elétrica máxima (Vm --> 0)[V]>
Entre com o valor da corrente elétrica máxima (Im --> 0)[A]-->
Entre com o número de ciclos (>= 1)-->
Ângulo de FASE da Tensão Elétrica EM GRAUS [°] -->
Ângulo de FASE da Corrente Elétrica EM GRAUS [°] -->
Instante para obter os valores de V e I em milisegundos t(ms) -->
Valor de V no intervalo (-Vm e +Vm) para obter o instante que V é atingido [V] -->
Valor de I no intervalo (-Im e +Im) para obter o instante que I é atingido [A] -->
    
```

Dessa maneira, a metodologia inicia a descrição elétrica dos citados parâmetros e a correspondente codificação no Scilab.

Para tanto, inicialmente, apoia-se na “Figura 2” que ilustra os sinais instantâneos da tensão  $v(t)$ , corrente  $i(t)$  e da potência ativa  $p(t)$ , bem como nas equações “elétricas” indicadas a seguir.

Figura 2 - Gráfico dos sinais de tensão, corrente e potência.



Fonte: Própria.

Da “Figura 2”, tem-se:

- $v(t)$ ,  $i(t)$ ,  $p(t)$ : sinais da tensão, corrente e potência;
- $V_m$ ,  $I_m$ : valores máximos da tensão [V] e da corrente [A], respectivamente;
- $\Delta t$ : defasamento entre tensão e corrente em segundos [s];
- $T$ : período do sinal [s] e;
- Multímetro: representando valores rms da tensão, corrente e potência.

As “Equações 1, 2 e 3” expressam os sinais instantâneos da tensão, corrente e potência:

$$v(t) = V_m \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot F \cdot t \pm \theta_v) [V] \quad (1)$$

$$i(t) = I_m \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot F \cdot t \pm \theta_i) [A] \quad (2)$$

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = \frac{V_m \cdot I_m}{2} \cdot [\cos|(\theta_v - \theta_i)| - \cos(2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot F \cdot t + \theta_v + \theta_i)] \quad (3)$$

Onde:

- $V_m$ ,  $I_m$ : valores máximos da tensão [V] e corrente [A], respectivamente;
- $t$ : instante t;
- $F$ : frequência [Hz];
- os sinais  $\pm$  indicam avanço, atraso ou em fase;
- $\theta_v^\circ$ ,  $\theta_i^\circ$ : defasamentos da tensão e corrente, respectivamente;
- $\Delta\theta^\circ$ : diferença do defasamento entre a tensão e corrente ( $\Delta\theta = \theta_v - \theta_i$ ).

Nas mencionadas equações verificam-se que as expressões instantâneas de  $v(t)$ ,  $i(t)$  e  $p(t)$  estão em função de  $V_m$ ,  $I_m$ ,  $F$ ,  $t$ ,  $\theta_v^\circ$ ,  $\theta_i^\circ$  e  $\Delta\theta^\circ$  e, tomando por base as “Equações 1 e 2”, é possível reescrevê-las de maneira a obter o instante (t) para determinados valores de entrada da tensão e da corrente que, neste trabalho, são denominadas de “Ventrada” e “Ientrada”, respectivamente. Dito isso, as “Equações 4 e 5” ilustram o instante (t), de acordo com o “Ventrada” e “Ientrada”.

$$t(\text{Ventrada}) = (\arcsen(|\text{Ventrada}/V_m|) - \theta_v(\text{rad})) / (2 \cdot \pi \cdot F) \quad (4)$$

$$t(\text{Ientrada}) = (\arcsen(|\text{Ientrada}/I_m|) - \theta_i(\text{rad})) / (2 \cdot \pi \cdot F) \quad (5)$$

O destaque às “Equações 4 e 5” é porque o programa solicita valores de tensão e de corrente com o propósito de obter o respectivo instante (t) para “Ventrada” e “Ientrada”. Notam-se, ainda, nessas equações que os defasamentos são calculados em radianos (rad). A conversão dos ângulos dos defasamentos para radianos é necessária em decorrência do cálculo da função seno, “Equações 1 e 2”, que envolve a multiplicação,  $2 \cdot \pi \cdot F \cdot t$ , cuja unidade de medida resultante é o radiano. Dessa forma, é por opção usar radianos, justifica-se a conversão do ângulo do defasamento de graus para radianos. Nesta situação, muita atenção no cálculo do seno nas calculadoras, ou seja, deve-se, obrigatoriamente, ajustá-la para radiano (rad).

Adicionalmente, o programa também pede como entrada os valores de V, I e P para um determinado instante (t). Neste caso, o valor de (t) é, simplesmente, substituído nas “Equações 1, 2 e 3”.

O último parâmetro de entrada corresponde ao número de períodos que tem como objetivo ajustar os gráficos dos sinais da tensão, corrente e potência.

Resumindo, os parâmetros de entrada solicitados pelo programa são,  $V_m$ ,  $I_m$ ,  $F$ ,  $t$ ,  $\theta_v^\circ$ ,  $\theta_i^\circ$ ,  $V_{entrada}$ ,  $I_{entrada}$  e o número de períodos.

Feitas essas considerações iniciais, o próximo passo é expor o código das entradas em linguagem computacional Scilab. A finalidade de mostrar os códigos é fornecer uma introdução básica da sintaxe do Scilab e não tem como propósito transformar a metodologia em um manual até porque, conforme será demonstrado, a codificação é decorrente dos conceitos da unidade curricular de Circuitos Elétricos em Corrente Alternada e, além disso, o nível lógico codificado no Scilab é fácil de ser compreendido.

### 2.3 Codificação das entradas no scilab

No programa, partindo dos parâmetros de entrada, existem várias funções escritas como “functions” com a finalidade de levantar e calcular as características do circuito elétrico. Essas “functions” têm sua estrutura básica ilustrada na “Figura 3”.

Figura 3 – Estrutura da “function” no Scilab.

function (variáveis de retorno pela função) = nome da função (parâmetros de entrada ou vazia);

Para exemplificar o uso das funções e suas finalidades, considere os fragmentos do programa da “Figura 4” os descrevem as chamadas e as variáveis de retorno. Na sequência, serão fornecidos mais detalhes das quatro “functions” da “Figura 4”.

Figura 4 – Fragmentos das chamadas das funções no Scilab.

```
.....
1 function[f,Vm,Im,NroPeriodo] = leituraFVmImNroPeriodo();
2 function [tetaVGraus,tetaVRadianos] = leituraCalculoTetaV();
3 function[tetalGraus,tetalRadianos] = leituraCalculoTetal();
4 function[v, i, instante, Vt, It, Vk, instanteV, Ik, instantel] = funcaoinstantaneaDe_vi(Vm,
Im, f, t, T, tetaVRadianos, tetalRadianos)
.....
```

Fonte:Própria.

A função “leituraFVmImNroPeriodo()”, linha 1 do fragmento, é responsável pelas leituras das entradas da frequência ( $F$ ), da amplitude máxima da tensão ( $V_m$ ) e da corrente ( $I_m$ ) e do número de períodos ( $NroPeríodo$ ). Essas leituras são atribuídas as variáveis  $f$ ,  $V_m$ ,  $I_m$ ,  $NroPeríodo$ , retornadas pela função.

As “functions” “leituraCalculoTetaV()” e “leituraCalculoTetal()”, linhas 2 e 3 da “Figura 4”, fazem as leituras dos ângulos de defasamento da tensão e da corrente e ambas convertem os respectivos ângulos para radianos e, retornam os respectivos defasamentos em grau e radiano.

Já a “function” “funcaoinstantaneaDe\_vi( $V_m$ ,  $I_m$ ,  $f$ ,  $t$ ,  $T$ ,  $tetaVRadianos$ ,  $tetalRadianos$ )”, linha 4 do fragmento, executa os cálculos da tensão e da corrente para um determinado instante e também o tempo para atingir os valores definidos pela tensão e corrente de entrada,  $V_{entrada}$  e  $I_{entrada}$ .

### 2.4 Codificação das saídas no scilab

As saídas geradas pelo Scilab têm como referência os conceitos de Circuitos Elétricos em Corrente Alternada, cuja codificação no Scilab está baseada nos parâmetros listados nos “Quadros 1 e 2” que, por sua vez, são calculados pelo programa em função dos dados de entrada da “Figura 1”.

Quadro 1 – Saídas geradas pelo Scilab.

PARÂMETROS ELÉTRICOS	RELAÇÕES ELÉTRICAS
Valor médio (Vmed)	$V_{med} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) dt$
Eficaz (rms)	$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f^2(t) dt}$
Gráficos v(t), i(t) e p(t)	Figura 1
Tensão elétrica RMS	$V_{rms} = V_M / \sqrt{2}$ [V]
Corrente elétrica RMS	$I_{rms} = I_M / \sqrt{2}$ [A]
Período	$T = 1/F$ [s]
Frequência	$F = 1/T$ [Hz]
$\Delta\theta$ (Defasamento em graus [°])	$\Delta\theta =  \theta_v - \theta_i $ [°]
Conversão de $\Delta t$ (s) em defasamento $\theta$ [°] equivalente	$360^\circ \dots\dots\dots T(s)$ $\theta^\circ \dots\dots\dots \Delta t (s)$
Fator de potência (FP)	$FP = \cos(\Delta\theta)$ (ind, res, cap)
Velocidade Angular	$\omega = 2\pi/T = 2\pi F$ [rad/s]
Deslocamento Angular	$\alpha = \omega t$ [rad ou °]
Conversão de graus em radianos e vice-versa	$180^\circ \dots\dots\dots \pi \text{ rad}$ $\text{graus}^\circ \dots\dots\dots \text{radianos}$
Tensão elétrica instantânea	$v(t) = V_M \text{sen}(\omega t \pm \theta_v)$ [V]
Corrente elétrica instantânea	$i(t) = I_M \text{sen}(\omega t \pm \theta_i)$ [A]
Potência elétrica instantânea	$p(t) = ((V_M I_M)/2) [\cos(\Delta\theta) - \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i)]$ [W]
Reatância Indutiva	$X_L = V/I = \omega L$ [Ω]
Reatância Capacitiva	$X_C = V/I = 1/\omega C$ [Ω]
Resistência	$R = V/I$ [Ω]
Indutância	$L = X_L/\omega$ [H]
Capacitância	$C = 1/\omega X_C$ [F]
Fasor Tensão	$\dot{V} = \dot{V} \angle \theta_v$ [V]
Fasor Corrente	$\dot{I}_{cint} = I \angle \theta_i$ [A]
Impedância	$Z = \frac{\dot{V}}{\dot{I}_{cint}}$ [Ω]
Triângulo de Potência (S, P, Q)	$\dot{S} = \dot{V} \dot{I}^*$ [VA] $P = VI \cos \Delta\theta$ [W] $Q = VI \text{sen} \Delta\theta$ [VAR]

Havendo necessidade, o programa também executa a correção do fator de potência para o valor desejado pelo usuário. O “Quadro 2” demonstra os cálculos implementados no programa. Ressaltando que as letras “a” e “d” indicam, respectivamente, antes e depois da correção do fator de potência.

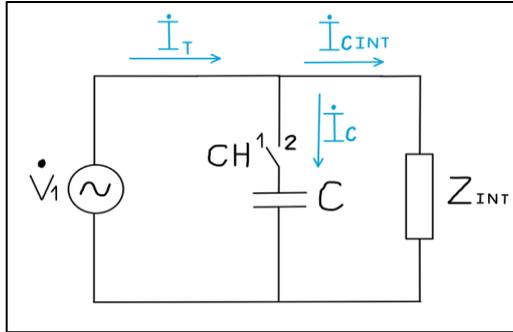
Quadro 2 – Correção do fator de potência pelo Scilab.

PARÂMETROS ELÉTRICOS	RELAÇÕES ELÉTRICAS
Antes da correção do fator de potência	a) $FP_a = P_a/VI$ b) $\theta_a = \text{ArcCos}(FP_a)$ [°] c) $Q_{La} = VI \text{Sen}(\theta_a)$ [VAR]
Triângulo de potência após a correção do fator de potência	d) $\theta_d = \text{ArcCos}(FP_d)$ [°] e) $Q_{Ld} = \text{Tang}(\theta_d)P_d$ [Var] f) $Q_{Ld} = Q_{La} - Q_c$ $Q_c = Q_{Ld} - Q_{La}$ [VAR] g) $Q_c = V^2 \omega C$ $C = Q_c/V^2 \omega$ [F] h) $\dot{S}_d = P + j Q_{Ld}$ [VA] $\dot{S}_d = \dot{V} \dot{I}_d^*$ [VA]
Fasor da corrente no banco de capacitor (Ic)	i) $\dot{I}_c = \left(\frac{Q_c}{V}\right) \angle 90^\circ$ [A]
Fasor da Corrente após a correção do fato de potência	j) $\dot{I}_t = \dot{I}_c + \dot{I}_{cint}$ [A]

A “Figura 5” mostra o circuito elétrico base usado no projeto, cujos parâmetros compreendem, a impedância da carga instalada (Zint), os fasores de tensão de entrada e

das correntes, total ( $I_t$ ), capacitor ( $I_c$ ) e da carga instalada ( $I_{cint}$ ). O capacitor (C) representa a operação envolvendo a correção do fator de potência, implementada no projeto.

Figura 5 – Circuito elétrico base do projeto.



Fonte: Própria.

### 3 RESULTADOS

Para demonstrar os resultados da ementa codificada e confrontá-los com a teoria de circuitos elétricos, foram estruturados cinco estudos de caso, considerando os dados de entrada do “Quadro 3”.

Quadro 3 – Dados de entrada utilizados nos casos.

F	V <sub>m</sub>	I <sub>m</sub>	Ciclos	θ <sub>v</sub> [°]	θ <sub>i</sub> [°]	t	V <sub>entrada</sub>	I <sub>entrada</sub>
60 Hz	127 V	10 A	2	0°	dependo do caso (0°, ±90°, ±60°)	5 ms	50 V	4 A

Do “Quadro 3”, salienta-se que todos os dados de entradas podem ser, evidentemente, alterados. Todavia, por questões de didática e espaço, a única variável é o defasamento da corrente que perfaz a faixa do fator de potência, isto é, de 0 a 1. Para tanto, os estudos de casos estão estruturados da seguinte maneira:

- a) Caso 1: Circuito elétrico resistivo ( $\theta_v = \theta_i = 0^\circ$ )
- b) Caso 2: Circuito elétrico puramente indutivo ( $\theta_v = 0^\circ$ ;  $\theta_i = -90^\circ$ )
- c) Caso 3: Circuito elétrico puramente capacitivo ( $\theta_v = 0^\circ$ ;  $\theta_i = +90^\circ$ )
- d) Caso 4: Circuito elétrico capacitivo ( $\theta_v = 0^\circ$ ;  $\theta_i = +60^\circ$ )
- e) Caso 5: Circuito elétrico indutivo ( $\theta_v = 0^\circ$ ;  $\theta_i = -60^\circ$ ;  $f_p = 0.5$ ) com correção do fator de potência para 0.95 indutivo

Os resultados destes casos estão organizados em quatro partes, um relatório analítico, gráficos de  $v(t)$  e  $i(t)$ , sinal de  $p(t)$  e suscintos comentários. Todavia, por questões de limitação de páginas do artigo, os casos 2 e 3 serão apresentados apenas os sinais de  $v(t)$ ,  $i(t)$  e  $p(t)$ , enquanto ao relatório analítico, o mesmo será, parcialmente, mostrado nos casos 4 e 5.

#### 3.1 Caso 1: circuito elétrico resistivo ( $\theta_v = \theta_i = 0^\circ$ )

A Figura 6 mostra o relatório analítico do caso 1.

Figura 6 - Relatório analítico do caso 1 - circuito elétrico resistivo.

```

***** RELATÓRIO *****
***** PARÂMETROS ELÉTRICOS DOS SINAIS DA TENSÃO, DA CORRENTE E DA POTÊNCIA *****
A)--> Frequência (F) = 60 [HZ]
B)--> Velocidade Angular (w = 2*pi*F) = 376.991 [Rad/s]
C)--> Período (T = 1/F) = 16.667 [ms]
D)--> Tensão Elétrica Máxima (Vm) = 127.000 [V]
E)--> Tensão Elétrica Eficaz (RMS) (Vrms = Vm/raiz(2)) = 89.803 [V]
F)--> Valor da Tensão Elétrica (V=Vm*sen(w*t+TetaVRadianos) no instante t = 5.000 [ms]= 120.78 [V]
G)--> O 1º instante (t=[ArcSen(V/Vm)-TetaVRadianos]/w) que a tensão elétrica atinge o valor de 50.00 [V] ocorre em t = 1.073 [ms]
H)--> Corrente Elétrica Máxima (Im) = 10.000 [A]
I)--> Corrente Elétrica Eficaz (RMS) (Irms = Im/raiz(2)) = 7.071 [A]
J)--> Valor da Corrente Elétrica (I=Im*sen(w*t+TetaIRadianos) no instante t = 5.000 [ms]= 9.51 [A]
K)--> O 1º instante (t=[ArcSen(I/Im)-TetaIRadianos]/w) que a corrente elétrica atinge o valor de 4.00 [A] ocorre em t = 1.092 [ms]
L)--> Potência Ativa Média (Pm = (Vm*Im*cos(TetaV-TetaI))/2) = 635.000 [W]
M)--> Potência Ativa Eficaz (RMS) (Prms = V*I*cos(TetaV-TetaI)) = 635.000 [W]
N)--> Valor da Potência Ativa (p=v(t)*i(t)) no instante t = 0.005 [s]= 1148.73 [W]
    
```

Figura 6 - Relatório analítico do caso 1 - circuito elétrico resistivo (continuação).

```

O)--> Ângulo de FASE em Graus da Tensão Elétrica = 0.000 [°]
P)--> Ângulo de FASE em Graus da Corrente Elétrica = 0.000 [°]
Q)--> Defasamento resultante em graus resultante entre Tensão e Corrente elétrica = 0.000 [°]
R)--> Fator de Potência FP (FP = cos(mod(TetaV-TetaI)) )= 1.00 Em fase (resistivo)
Esses parâmetros definem o comportamento dos sinais v(t), i(t) e p(t) mostrados na janela gráfica 0.
##### FASORES DE TENSÃO E CORRENTE #####
S)--> Fasor Tensão V = 89.803|_ 0.000 [°] [V]
T)--> Fasor Corrente I = 7.071|_ 0.000 [°] [A]
##### DIAGRAMA DE IMPEDÂNCIA #####
U)--> impedância Equivalente = 12.700 |_ 0.000 ° [Ohm]
V)--> impedância Equivalente = 12.700000 + 0.000000i [Ohm]
##### TRIÂNGULO DE POTÊNCIA #####
S)--> Potência Aparente = 635.000 + 0.000i [VA]
S)--> Potência Aparente = 635.000 |_ 0.000 ° [VA]
W)--> Potência Ativa P = 635.000 [W]
X)--> Potência Reativa Q = 0.000 [VAr]
    
```

Os sinais de  $v(t)$  e  $i(t)$  estão ilustrados na “Figura 7” e  $p(t)$ , “Figura 8”. A legenda do sinal da corrente elétrica informa que foi multiplicada por dez apenas com o intuito de fornecer uma melhor visualização do sinal a corrente.

Figura 7 - Gráfico dos sinais de tensão e corrente do caso 1 - circuito elétrico resistivo.

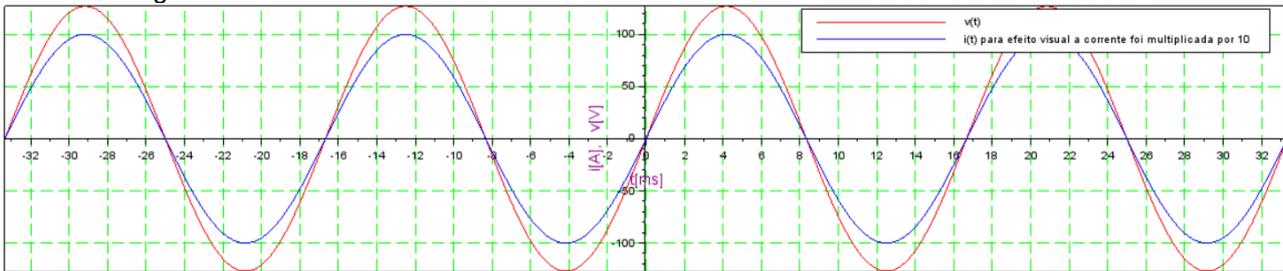
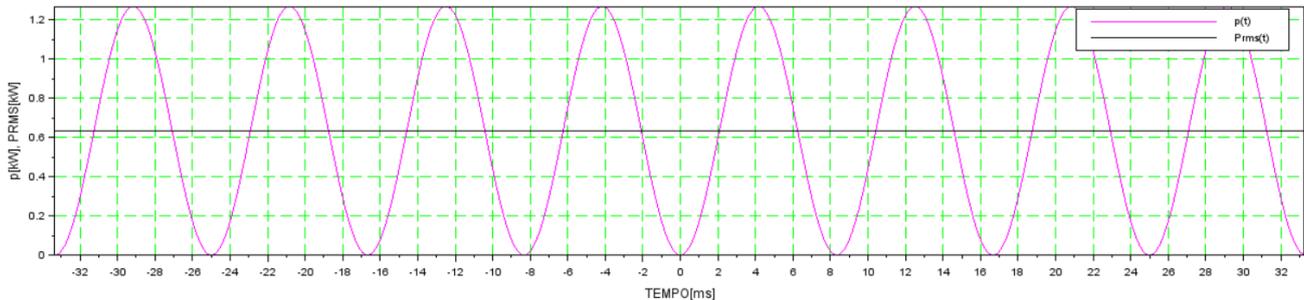


Figura 8 - Gráfico dos sinais da potência e do valor rms do caso 1 - circuito elétrico resistivo.



Neste caso, observa-se que a corrente está em fase com a tensão, bem como o sinal instantâneo da potência não possui valores negativos, sendo o seu valor rms 635 [W]. Além disso, a impedância é composta apenas pela resistência e o valor da potência reativa é igual a zero.

### 3.2 Caso 2: circuito elétrico puramente indutivo ( $\theta_v = 0^\circ$ ; $\theta_i = -90^\circ$ )

As “Figuras 9 e 10” mostram os sinais da tensão, corrente e potência.

Figura 9 - Gráfico dos sinais de tensão e corrente do caso 2 - circuito elétrico puramente indutivo.

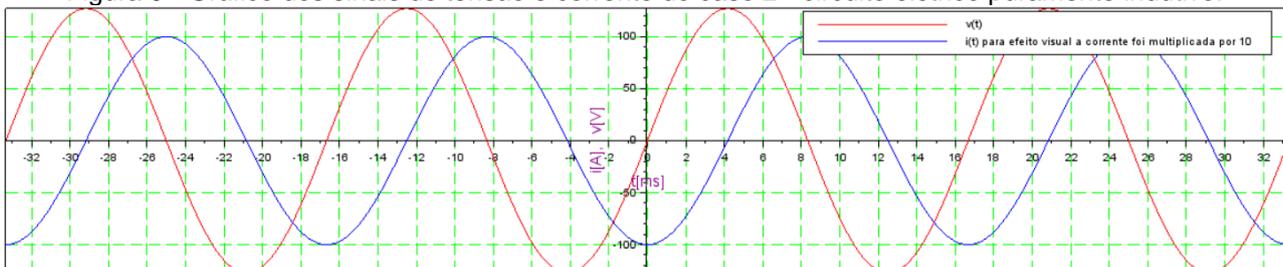
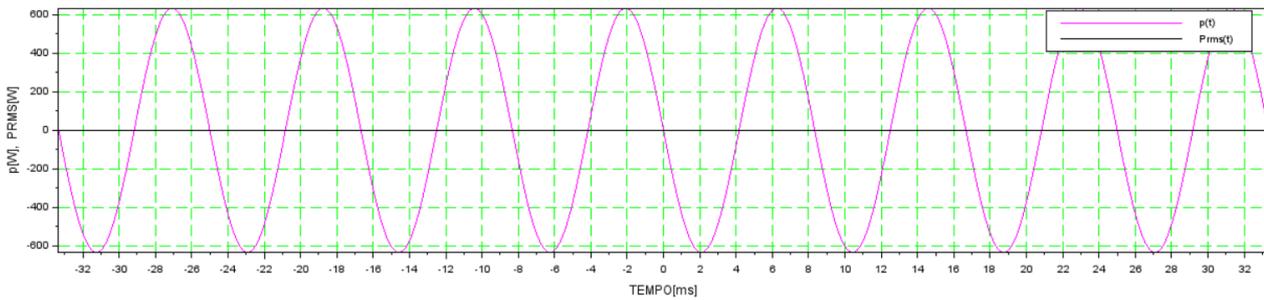


Figura 10 - Gráfico dos sinais da potência e do valor rms do caso 2 - circuito elétrico puramente indutivo.



Os sinais anteriores, descrevem a corrente elétrica atrasada de  $90^\circ$  em relação à tensão, ou seja, quando a tensão atinge seu valor máximo a corrente está em zero e vice-versa, enquanto a área de semi-ciclo positivo de  $p(t)$  é igual a área de semi-ciclo negativo, resultando em valor médio da potência ( $p(t)$ ) igual a zero.

### 3.3 Caso 3: circuito elétrico puramente capacitivo ( $\theta_v = 0^\circ$ ; $\theta_i = +90^\circ$ )

As “Figuras 11 e 12” evidenciam os comportamentos dos sinais de  $v(t)$ ,  $i(t)$  e  $p(t)$ .

Figura 11 - Gráfico dos sinais de tensão e corrente do caso 3 - circuito elétrico puramente capacitivo.

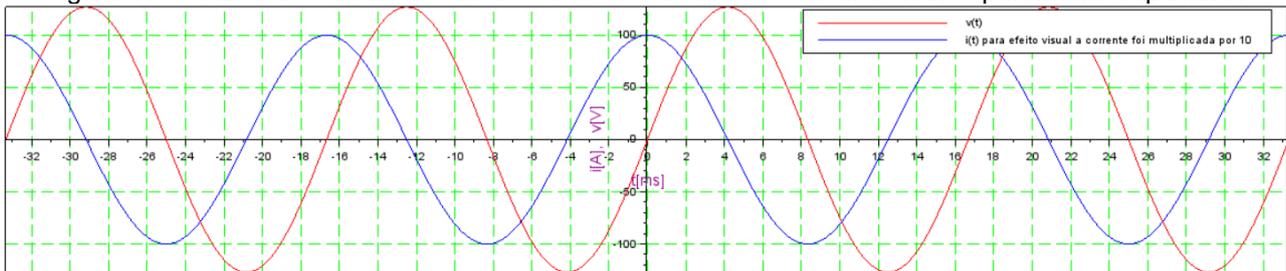
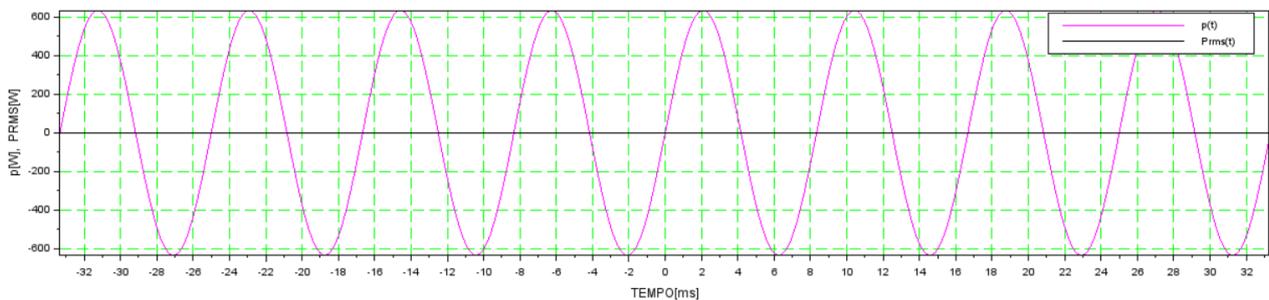


Figura 12 - Gráfico dos sinais da potência e do valor rms do caso 3 - circuito elétrico puramente capacitivo.



O circuito elétrico puramente capacitivo é caracterizado pelo avanço do sinal da corrente em  $90^\circ$  em relação a tensão, ou seja, quando a corrente atinge seu valor máximo, a tensão está em zero e vice-versa, conforme mostra a “Figura 11”. Além disso, o sinal de  $p(t)$ , “Figura 12”, observa-se que a área do semi-ciclo positivo é igual a área do semi-ciclo negativo, resultando no valor médio de  $p(t)$  igual a zero, isto é, fator de potência igual a 0.

### 3.4 Caso 4: circuito elétrico capacitivo ( $\theta_v = 0^\circ$ ; $\theta_i = +60^\circ$ )

A “Figura 13” evidencia o relatório analítico deste caso.

Figura 13 - Relatório do resultado analítico do caso 4 - circuito elétrico capacitivo.

```
L)--> Potência Ativa Média ( $P_m = (V_m \cdot I_m \cdot \cos(\text{TetaV} - \text{TetaI})) / 2$ ) = 317.500 [W]
M)--> Potência Ativa Eficaz (RMS) ( $P_{rms} = V \cdot I \cdot \cos(\text{TetaV} - \text{TetaI})$ ) = 317.500 [W]
N)--> Valor da Potência Ativa ( $p = v(t) \cdot i(t)$ ) no instante  $t = 0.005$  [s] = 251.12 [W]
O)--> Ângulo de FASE em Graus da Tensão Elétrica = 0.000 [°]
P)--> Ângulo de FASE em Graus da Corrente Elétrica = 60.000 [°]
Q)--> Defasamento resultante em graus resultante entre Tensão e Corrente elétrica = 60.000 [°]
R)--> Fator de Potência FP ( $FP = \cos(\text{mod}(\text{TetaV} - \text{TetaI}))$ ) = 0.50 Adiantado (capacitivo)
Esses parâmetros definem o comportamento dos sinais  $v(t)$ ,  $i(t)$  e  $p(t)$  mostrados na janela gráfica 0.
```

Figura 13 - Relatório do resultado analítico do caso 4 - circuito elétrico capacitivo (continuação).

```
L)--> Potência Ativa Média ( $P_m = (V_m \cdot I_m \cdot \cos(\theta_v - \theta_i))/2$ ) = 317.500 [W]
M)--> Potência Ativa Eficaz (RMS) ( $P_{rms} = V \cdot I \cdot \cos(\theta_v - \theta_i)$ ) = 317.500 [W]
N)--> Valor da Potência Ativa ( $p=v(t) \cdot i(t)$ ) no instante  $t = 0.005$  [s]= 251.12 [W]
O)--> Ângulo de FASE em Graus da Tensão Elétrica = 0.000 [°]
P)--> Ângulo de FASE em Graus da Corrente Elétrica = 60.000 [°]
Q)--> Defasamento resultante em graus resultante entre Tensão e Corrente elétrica = 60.000 [°]
R)--> Fator de Potência FP ( $FP = \cos(\theta_v - \theta_i)$ ) = 0.50 Adiantado (capacitivo)
Esses parâmetros definem o comportamento dos sinais  $v(t)$ ,  $i(t)$  e  $p(t)$  mostrados na janela gráfica 0.
```

As “Figuras 14 e 15” ilustram os sinais da tensão, corrente e potência.

Figura 14 - Gráfico dos sinais da tensão e corrente do caso 4: circuito elétrico capacitivo.

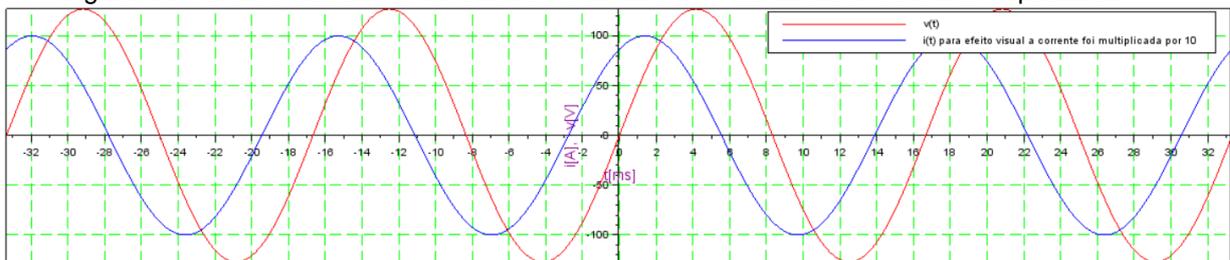
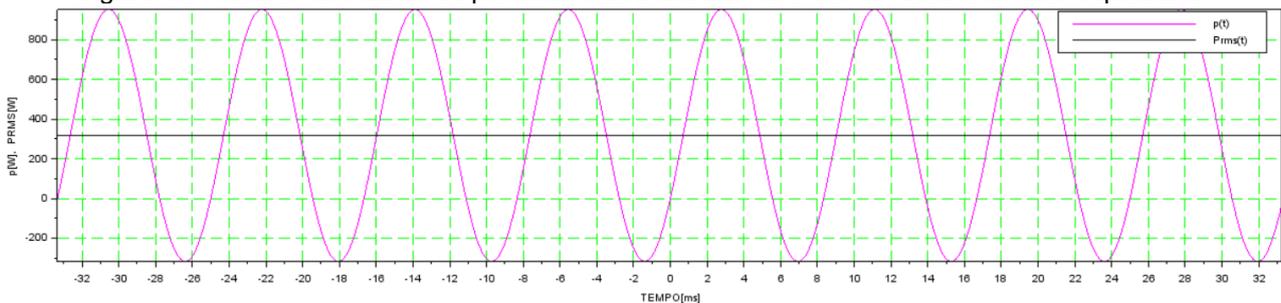


Figura 15 - Gráfico dos sinais da potência e do valor rms do caso 4: circuito elétrico capacitivo.



Os circuitos elétricos capacitivos são caracterizados pelo adiantamento da corrente em relação a tensão, ou seja, a corrente inicia e encerra o ciclo primeiro em relação a tensão, conforme mostra a “Figura 14”. Na “Figura 15”, nota-se que a área do semi-ciclo-positivo de  $p(t)$  é maior que semi-ciclo-negativo, resultando valor médio de  $p(t)$  diferente de zero, ou seja, fator de potência diferente de zero. Isto está refletido no ângulo da impedância e potência aparente que, em ambos têm valor negativo.

### 3.5 Caso 5: Circuito elétrico indutivo ( $\theta_v = 0^\circ$ ; $\theta_i = -60^\circ$ ; $f_p = 0.5$ ind) com correção do fator de potência para 0.95 indutivo

A “Figura 16” evidencia o relatório analítico sem e com a correção do fator de potência para 0.95.

Figura 16 - Relatório analítico do caso 5 - circuito elétrico indutivo (sem e com correção do fp).

```
##### FASORES DE TENSÃO E CORRENTE #####
S)--> Fasor Tensão V = 89.8031__ 0.000 [°] [V]
T)--> Fasor Corrente I = 7.0711__ -60.000 [°] [A]
##### DIAGRAMA DE IMPEDÂNCIA #####
U)--> impedância Equivalente = 12.700 |_ 60.000 ° [Ohm]
V)--> impedância Equivalente = 6.350000 + 10.998523i [Ohm]
##### TRIÂNGULO DE POTÊNCIA #####
S)--> Potência Aparente = 317.500 + 549.926i [VA]
S)--> Potência Aparente = 635.000 |_ 60.000 ° [VA]
W)--> Potência Ativa P = 317.500 [W]
X)--> Potência Reativa Q = 549.926 [Var]
```

Figura 16 - Relatório analítico do caso 5 - circuito elétrico indutivo (sem e com correção do f). (continuação)

```

##### CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA #####
Y)--> O fator de potência foi corrigido para: 0.950
Z)--> A capacitância necessária para corrigir o fator de potência é: 146.557 uF (microfaraday)
A2)--> O fasor corrente no capacitor é: 4.962 |__ 90.000° [A]
B2)--> O fasor corrente na carga é: 7.071 |__ -60.000° [A]
C2)--> O fasor corrente total após a inserção do banco de capacitores é: 3.722 |__ -18.195° [A]
##### IMPEDÂNCIA CORRIGIDA #####
D2)--> A impedância do sistema pós correção do fator de potência é: 24.130 |__ 18.195° [ohm]
E2)--> A impedância do sistema pós correção do fator de potência é: 22.923 + 7.535 [ohm]
##### TRIÂNGULO DE POTÊNCIA CORRIGIDO #####
F2)--> A potência aparente pós correção do fator de potência é: 334.211 |__ 18.195° [VA]
G2)--> A potência aparente pós correção do fator de potência é: 317.500 + 104.357 [VA]
H2)--> Potência ativa P pós correção do fator de potência: 317.500 [W]
I2)--> Potência reativa Q pós correção do fator de potência: 104.357 [VAr]
    
```

O relatório analítico da “Figura 16”, considerando sem a correção do fator de potência, notam-se que, o fasor da corrente está atrasado de  $-60^\circ$  em relação à tensão, o ângulo da impedância e da potência aparente são ambos de  $+60^\circ$  com potência ativa de 317,5 [W] e a potência reativa indutiva de 549,926 [VAr]. Ainda nessa etapa, destaca-se o módulo da corrente total com o valor de 7,07 [A] e ângulo de  $-60^\circ$ . Esses resultados são característicos de circuito elétrico indutivo.

Por outro lado, com a instalação do banco de capacitores, o fator de potência foi corrigido para 0.95 indutivo, correspondente ao ângulo de  $18,195^\circ$ . A diminuição do ângulo do fator de potência tem como consequências, a redução da potência reativa indutiva para 104,357 [VAr], a potência ativa permanece inalterada em 317,5 [W], tanto o ângulo da impedância e da potência aparente correspondem ao novo ângulo do fator de potência  $18,195^\circ$  e, a diminuição do módulo da corrente total para o valor de 3,722 [A] e ângulo de  $-18,195^\circ$ . Estes resultados são, tipicamente, de sistema elétricos que sofreram correção do fator de potência original.

Evidentemente que os efeitos da correção do fator de potência estão refletidos nos respectivos sinais de  $v(t)$ ,  $i(t)$  e  $p(t)$ , conforme mostram o comportamento desses sinais nas “Figuras 17, 18, 19 e 20”.

As “Figuras 17 e 18” descrevem os sinais da tensão e corrente, sem e com correção a correção do fator de potência, respectivamente.

Figura 17 - Gráfico dos sinais de tensão e corrente do caso 5 - circuito elétrico indutivo (sem correção).

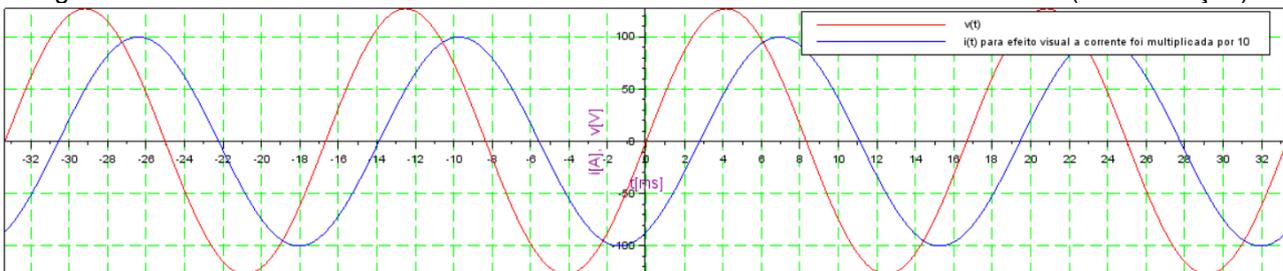


Figura 18 - Gráfico dos sinais de tensão e corrente do caso 5 – circuito elétrico indutivo (sem correção).

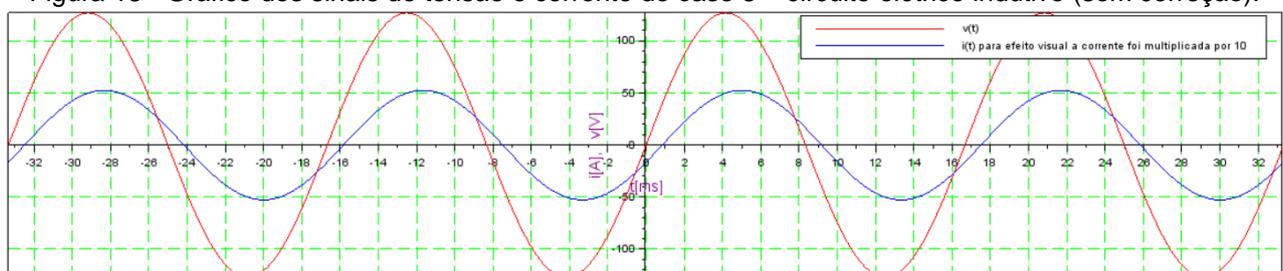


Figura 19 - Gráfico do sinal da potência e do valor rms do caso 5 - circuito elétrico indutivo (sem correção).

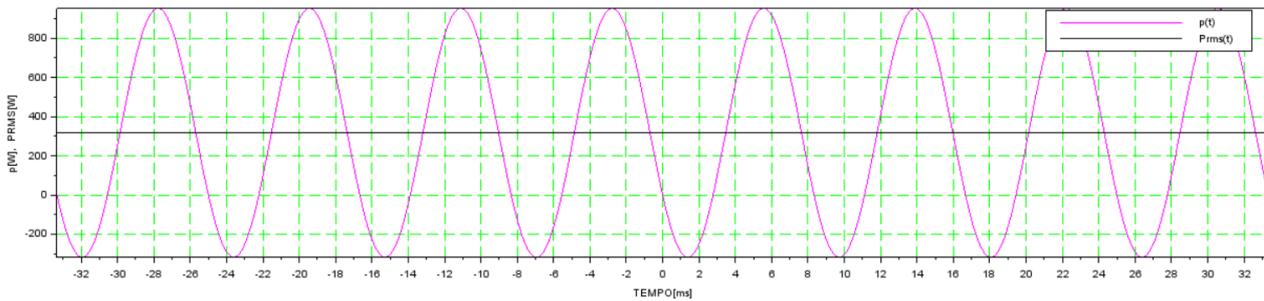
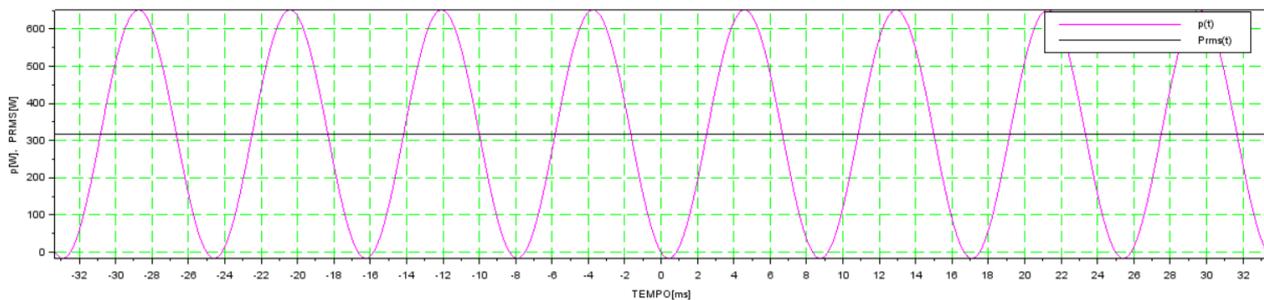


Figura 20 - Gráfico do sinal da potência e do valor rms do caso 5 - circuito elétrico indutivo (com correção).



Confrontando os sinais das potências, “Figuras 19 e 20”, os sinais e os valores rms são, exatamente, os mesmos, em conformidade com o esperado.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o propósito de testar o presente projeto, o artigo apresentou cinco estudos de caso com a estratégia de confrontar os resultados obtidos com a teoria de circuitos elétricos em corrente alternada. Em todos os casos apresentados, tanto os resultados analíticos e gráficos, mostraram-se alinhados aos conceitos e teorias da mencionada disciplina e, portanto, pode-se afirmar que a ementa do conteúdo de circuitos elétricos em corrente alternada foi codificada corretamente, gerando resultados confiáveis.

Diante disso, além de ser um instrumento de auxílio na aprendizagem, os códigos do programa poderão ser utilizados, com fáceis adaptações, no estudo de outros temas pertinentes como, por exemplo, sistema trifásico equilibrado, qualidade da energia, dentre outros. Adicionalmente, o professor pode requisitar, por exemplo, tarefas a serem executadas no programa com a finalidade de fixação dos conceitos apresentados na disciplina, bem como introdução à programação computacional e a iniciação científica.

Neste contexto, o código é disponibilizado por meio de um repositório e entende-se que os códigos e a lógica usada na programação são simples, sendo possível testar, atualizar e aprofundar os estudos de circuitos elétricos em corrente alternada.

Por fim, acredita-se que este trabalho do PET tenha atingido o seu objetivo, isto é, contribuir para o fortalecimento da graduação das engenharias com a codificação da ementa base da unidade curricular de Circuitos Elétricos em Corrente Alternada, oferecendo aos estudantes e professores um recurso didático de fácil acesso, confiável e gratuito.

## REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, R. L. **Introdução à Análise de Circuitos**, São Paulo: Editora Prentice Hall. 12 d. 2009.

IRWIN, J. D.; NELMS R. M. **Análise Básica de Circuitos para Engenharia**. 10. Ed, São Paulo: LTC. 2013.

NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. **Circuitos Elétricos**. 8. Ed, São Paulo: Prentice Hall do Brasil. 2018.

SCILAB. Página oficial. Disponível em: <https://www.scilab.org/>. Acesso em 15 de mai. 2024.

SILVA, E. M. Introdução ao Scilab Introdução ao Scilab (Aula 1). Disponível em: [https://www.lee.uerj.br/~elaine/aula1\\_2007.pdf](https://www.lee.uerj.br/~elaine/aula1_2007.pdf). Acesso em 15 de mai. 2024.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Educação Tutorial (PET)/MEC e aos monitores petianos que auxiliaram e fortaleceram o aprendizado em Circuitos Elétricos em Corrente Alternada.

## **PET'S CONTRIBUTION TO LEARNING ALTERNATING CURRENT ELECTRICAL CIRCUITS USING SCILAB**

**Abstract:** *The present work aims to strengthen teaching and facilitate learning of the curricular unit “Electrical Circuits in Alternating Current” through the coding of its base syllabus using the Scilab computational platform, with the target audience being students of engineering, Electrical, Computing and, Control and Automation. The motivation for developing this work is a consequence of observations from tutors under the Tutorial Education Program (PET)/MEC that indicate learning difficulties in the aforementioned topic. According to the monitors' notes, most of the time, these obstacles are notoriously difficult to overcome, meaning that students have to look for extra classes in order to improve their learning, as they do not always find something efficient easily and for free. In this context and with the purpose of increasing efficiency in teaching and learning, the methodology adopted was based on the development of an open source computer program in Scilab, easy to access, free, simple to use and linked to the course syllabus. Furthermore, the Scilab computational platform is equipped with several mathematical functions, which are extremely useful in engineering education. The program developed in this work was tested in five case studies whose results were faithful to the theory of electrical circuits, leading us to believe in the reliability of the implemented coding. Finally, it is believed that PET has achieved its objective, contributing to the strengthening of teaching and learning.*

**keywords:** *instantaneous signals, phasors, power factor correction, syllabus*

