



# FÍSICA EXPERIMENTAL IV

## AULA 2

[HTTP://WWW.IF.USP.BR/SUAIDE/](http://www.if.usp.br/suaide/)

*Alexandre Suaide*

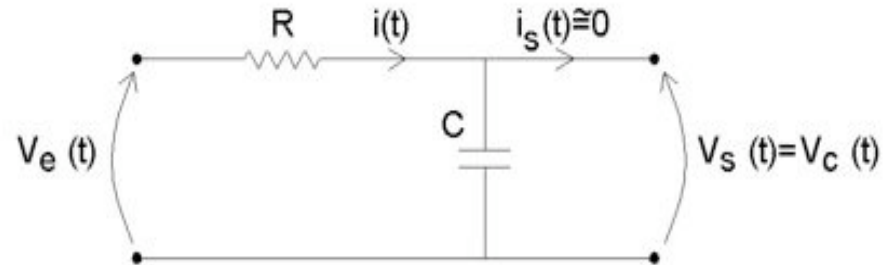
Ed. Oscar Sala

1

sala 246  
ramal 7072

# AULA ANTERIOR: GANHO RC

$$\hat{G} = \frac{\hat{V}_s}{\hat{V}_e} = G_0 e^{j\phi_G}$$



○ Sendo:

$$\omega_c = \frac{1}{RC}$$

$$G_0 = \frac{V_s^0}{V_e^0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}}$$

$$\phi_G = \omega \cdot \Delta T_{s-e} = \arctan\left(-\frac{\omega}{\omega_c}\right)$$



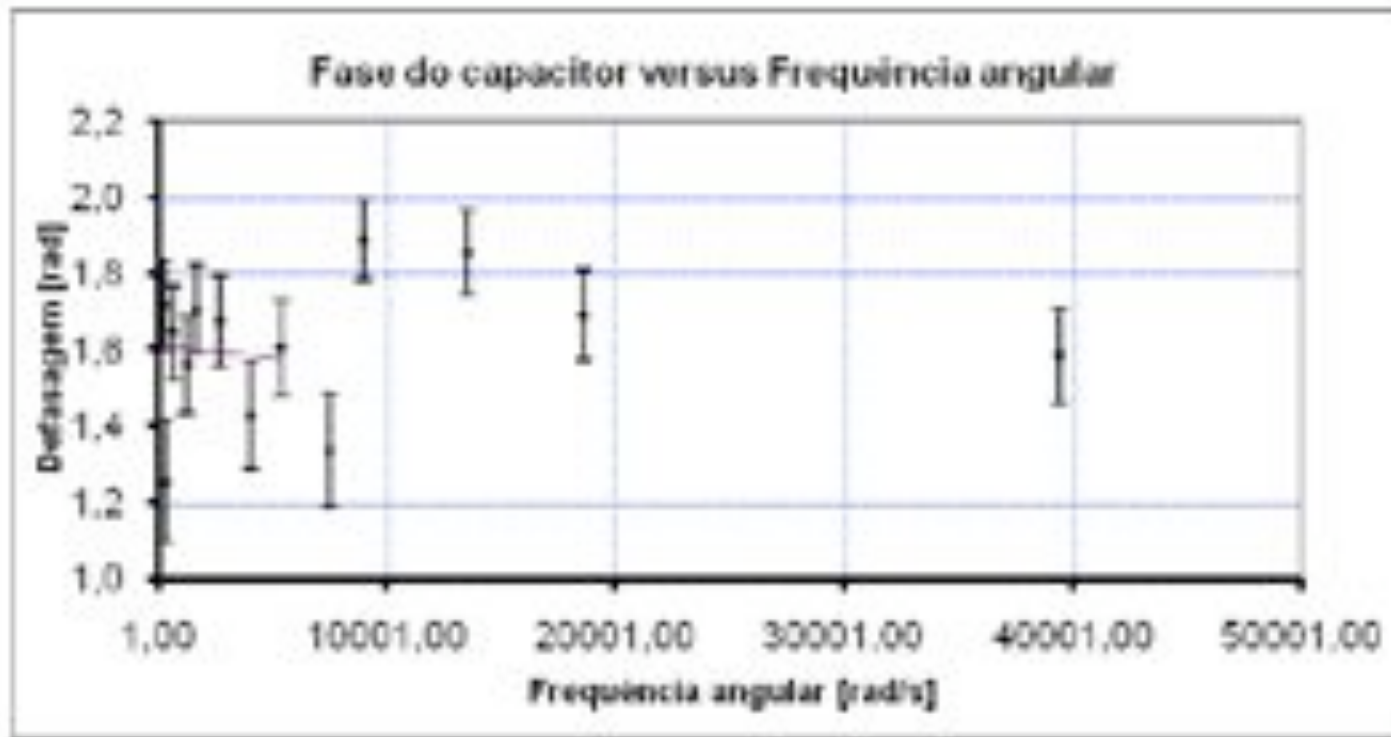


coeficiente angular é a capacitância do capacitor. Vemos que  $C = (1,08 \pm 0,04)\mu\text{F}$ . Este valor é compatível, dentro de dois desvios padrão, com o valor nominal. E o coeficiente linear da reta

## CASO 1



$Z_c$  versus  $(1/\omega C)$

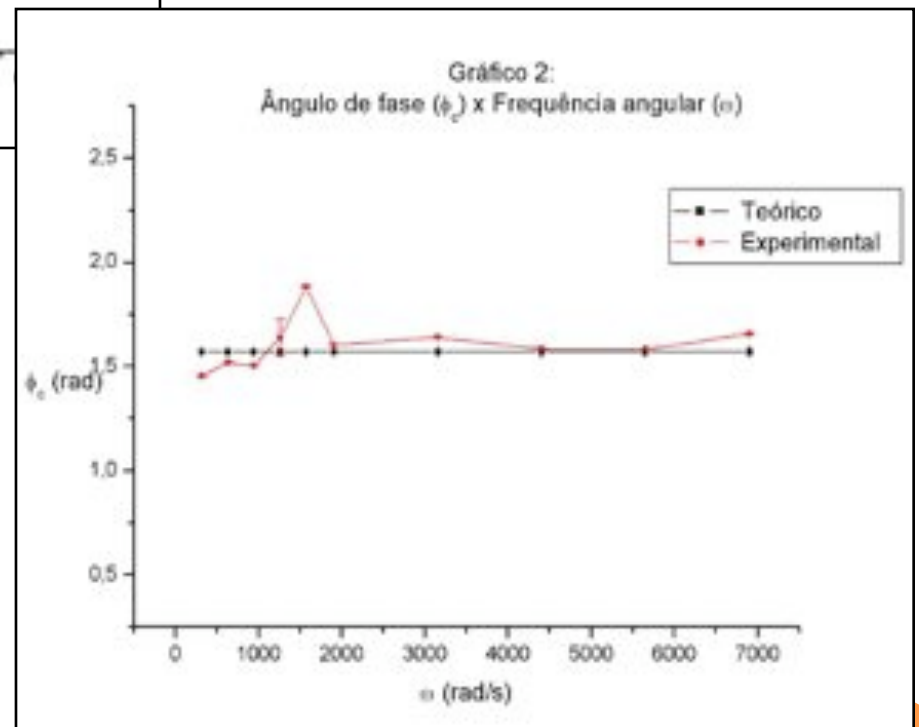
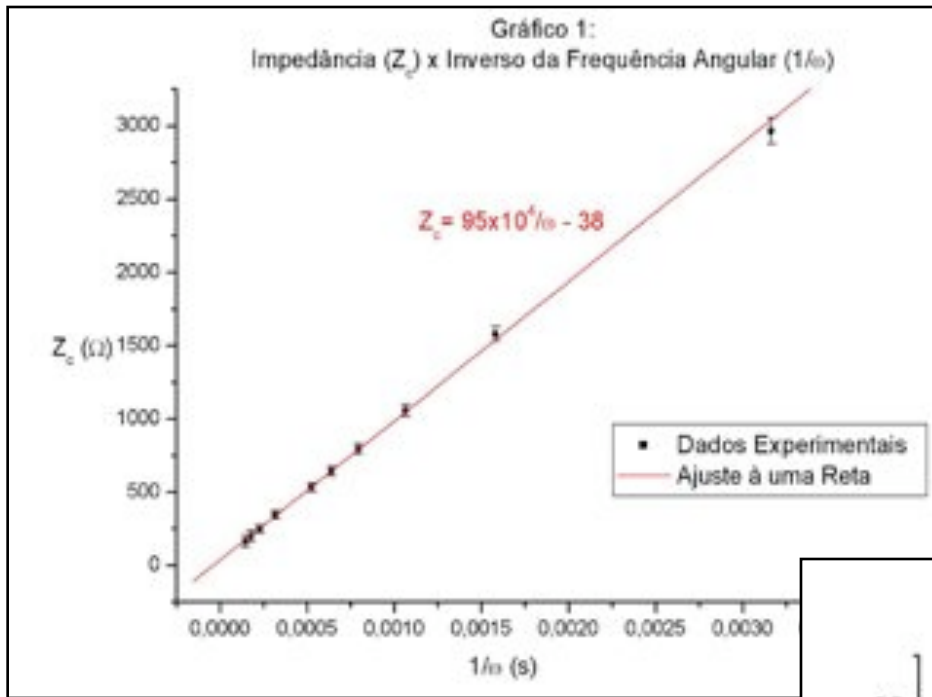


Teoricamente, a defasagem entre tensão e corrente no capacitor é  $\pi/2$ . Vemos no gráfico que os valores estão distribuídos estatisticamente em torno deste valor. A reta ajusta para estes dados pelo método dos mínimos quadrados é mostrada na tabela abaixo:

## CASO 1







## CASO 2

Gráfico 1:  
Impedância ( $Z_c$ ) x Inverso da Frequência Angular ( $1/\omega$ )



Gráfico 3:  
Ganho x Frequência Angular

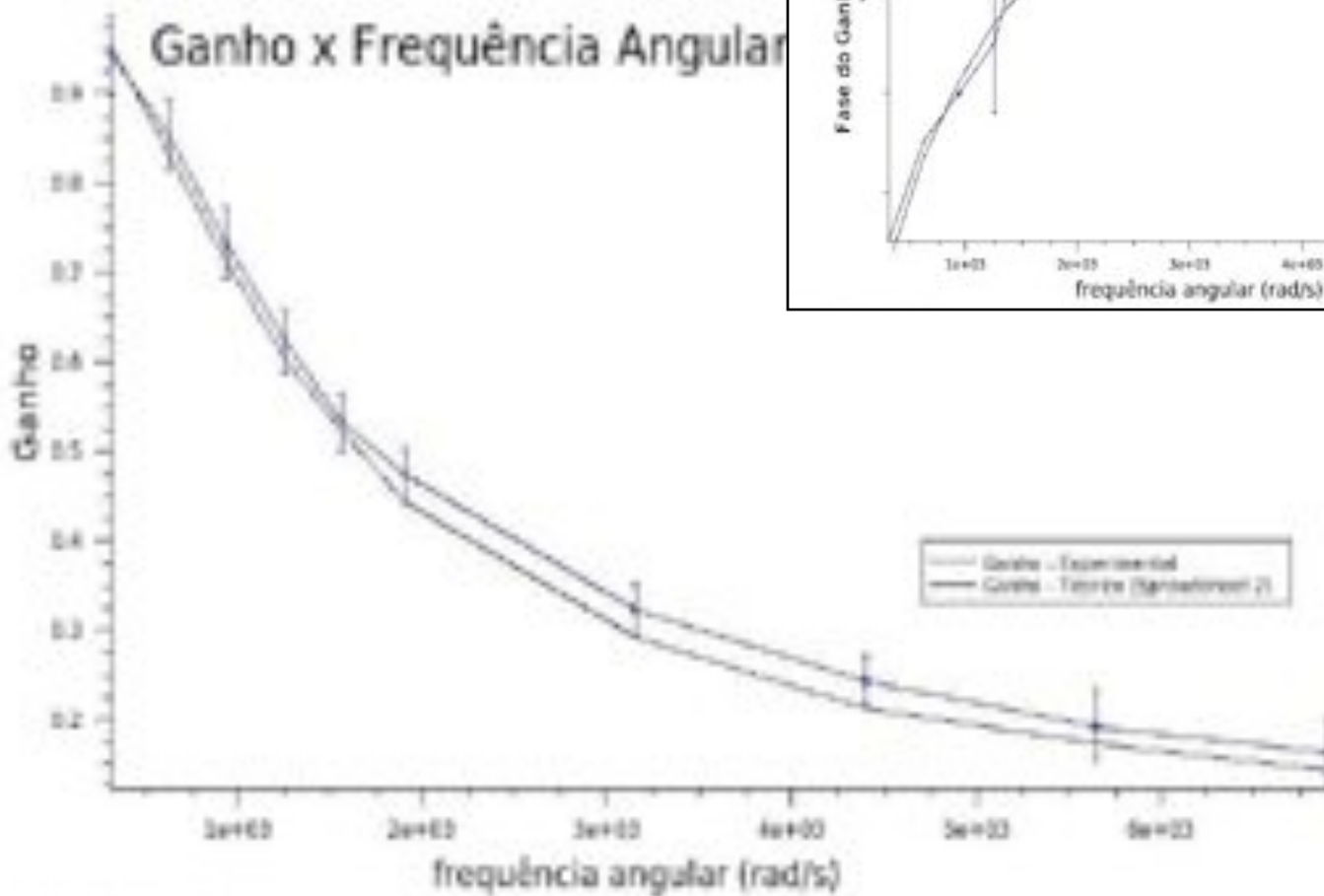
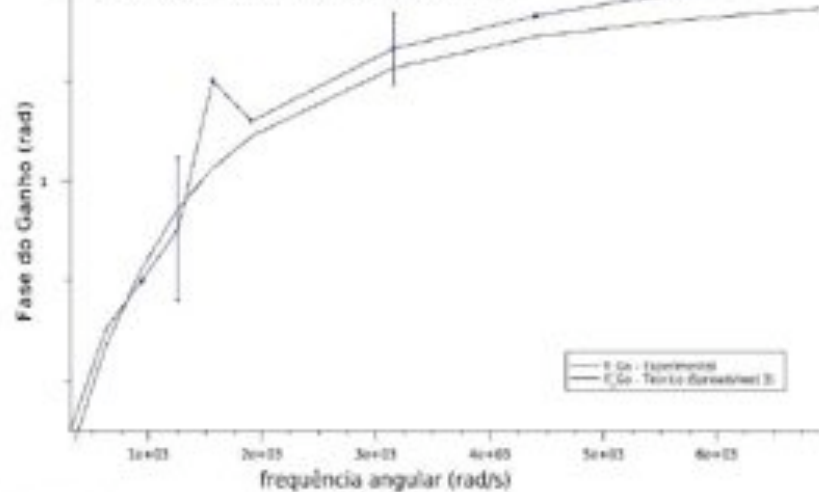


Gráfico 4:  
Fase do Ganho x Frequência Angular



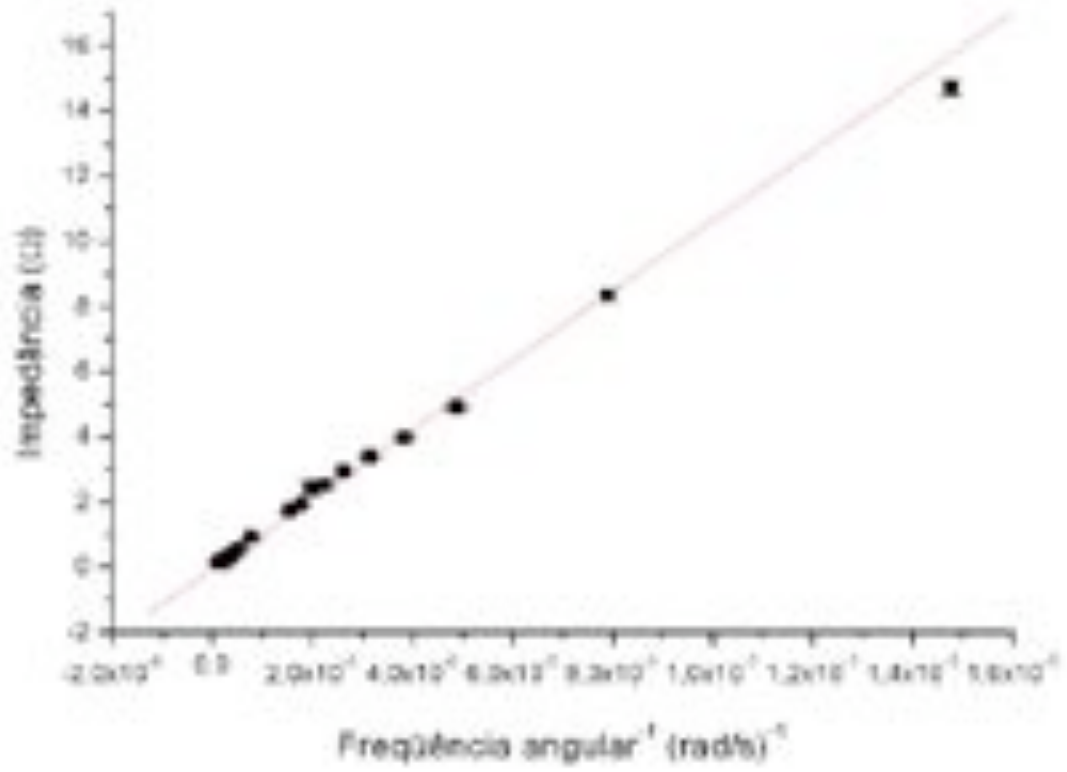
Teórico  
Experimental

0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000  
 $\omega$  (rad/s)

## CASO 2

Resistência de  $10,3(10)\Omega$ .

$$Wc = (103 \pm 10) \times 10^3 \text{ rad/s}$$

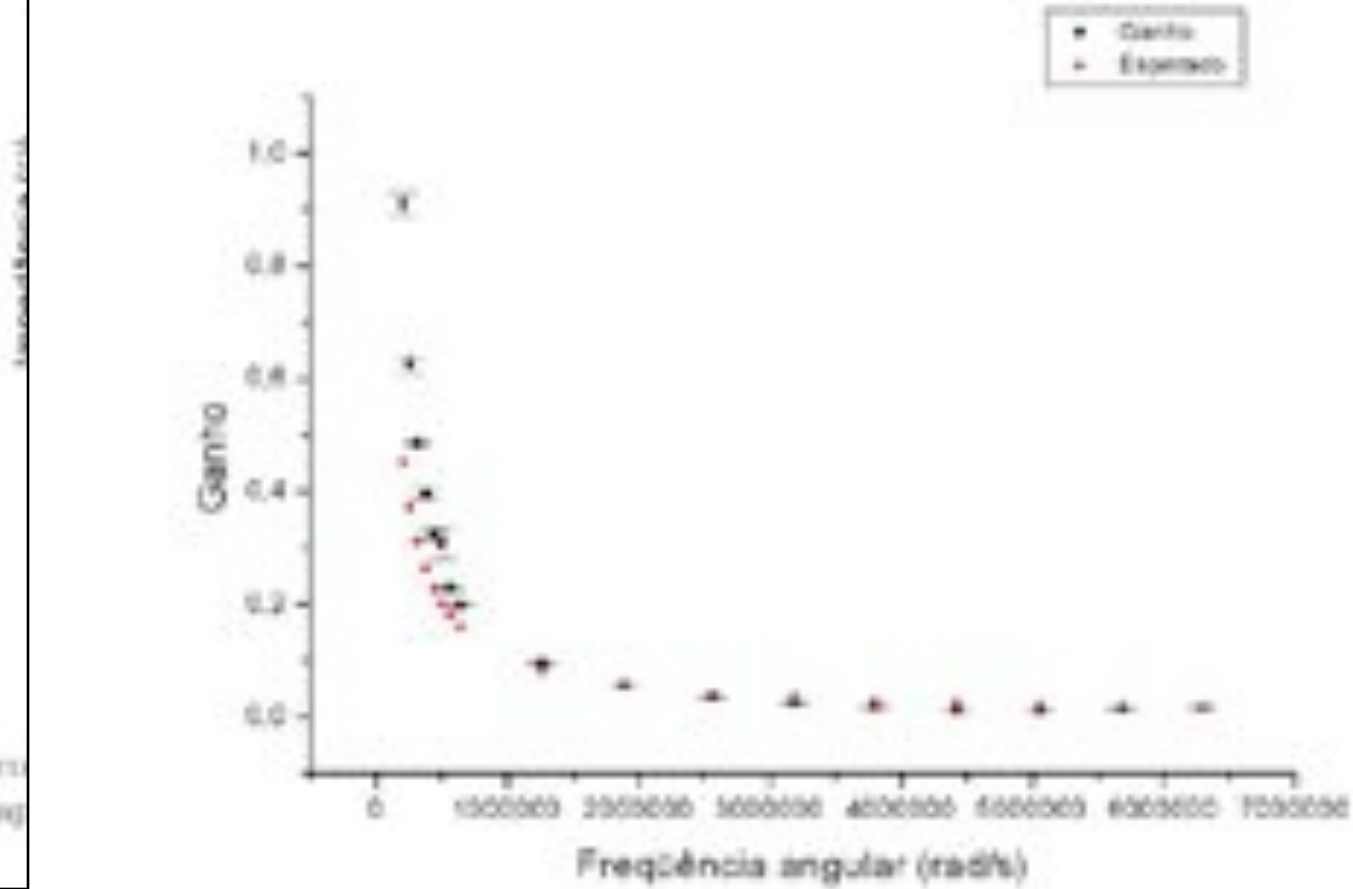


O coeficiente angular da reta é  $1/C = 1,07(19) \cdot 10^6 F^{-1}$ , o que equivale a uma capacitância de  $C = 9,36(17) \cdot 10^{-7} F$ .



## 2 Gráfico do ganho

$$W_c = (103 \pm 10) \times 10^3 \text{ rad/s}$$



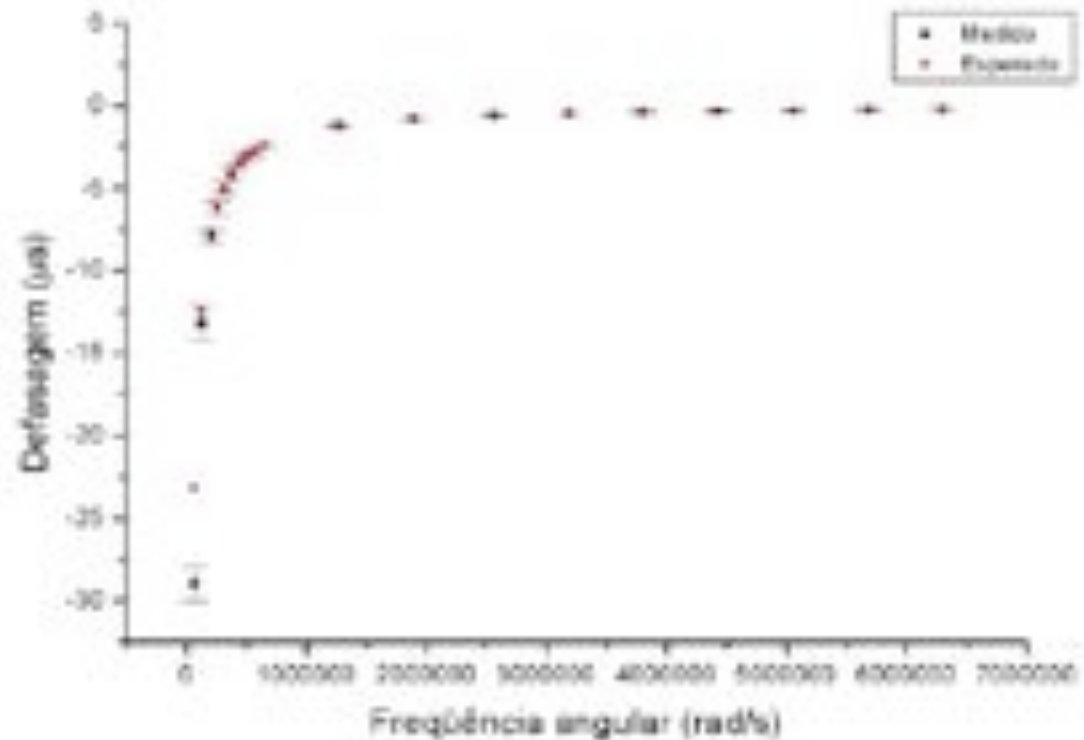
Resistência de  $10,3(10)\Omega$ .

## 2 Gráfico do ganho

$$W_c = (103 \pm 10) \times 10^3 \text{ rad/s}$$

## 3 Gráfico da defasagem

Como a fase do resistor de malha, então a fase entre  $V_s$  e  $V_e$  é igual a do capacitor.



R  
= ?

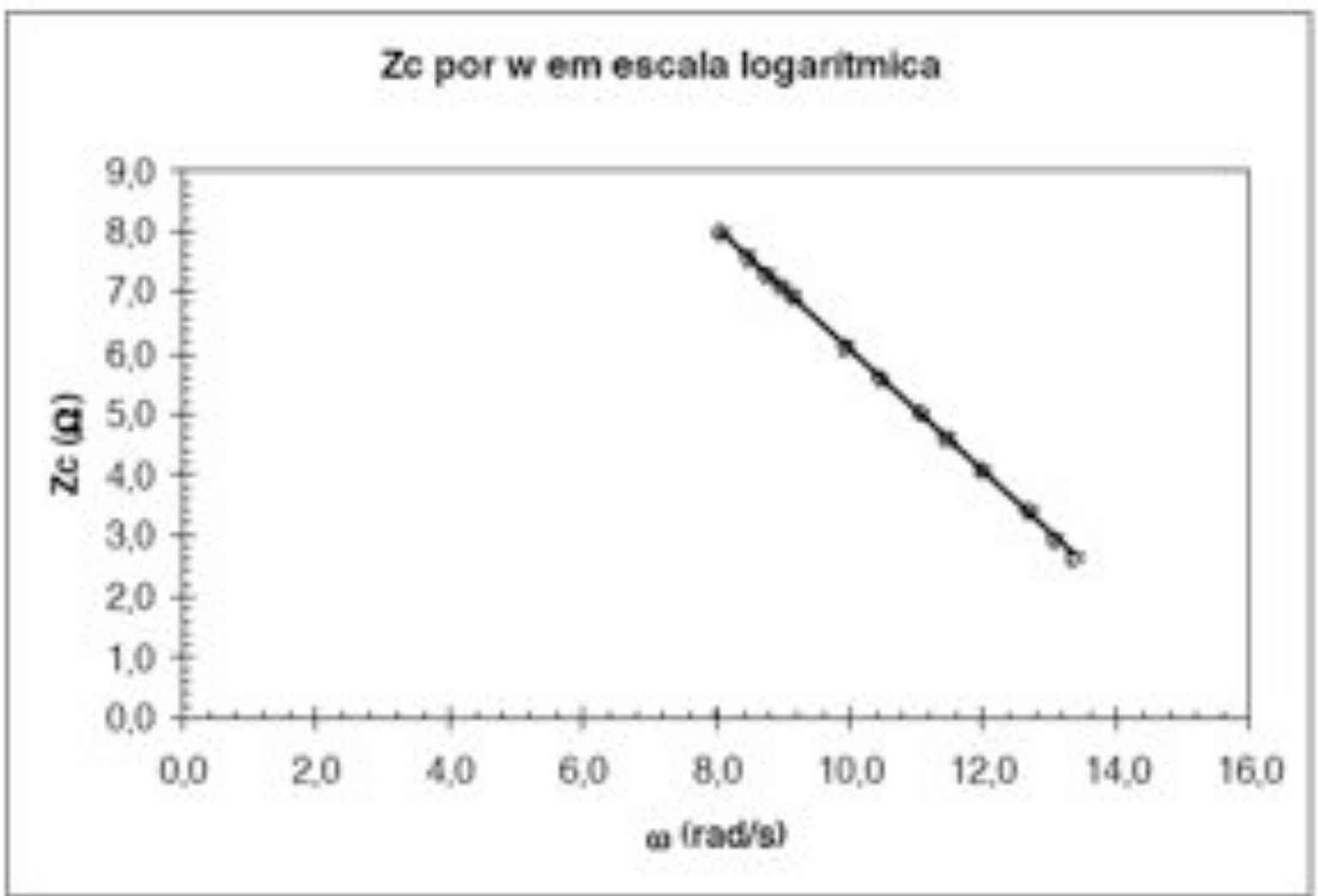


Gráfico 1: Gráfico da impedância do capacitor em função da frequência angular em escala logarítmica natural.

CASO 4

linear. Calculando-se a capacitância a partir do coeficiente linear obtém-se  $0,102 \pm 0,010 \mu\text{F}$ , valor que não é compatível com o valor medido com o multímetro,  $0,991 \pm 0,025 \mu\text{F}$ .

R  
= ?

Zc por w em escala logaritmica

Ganho por frequência angular

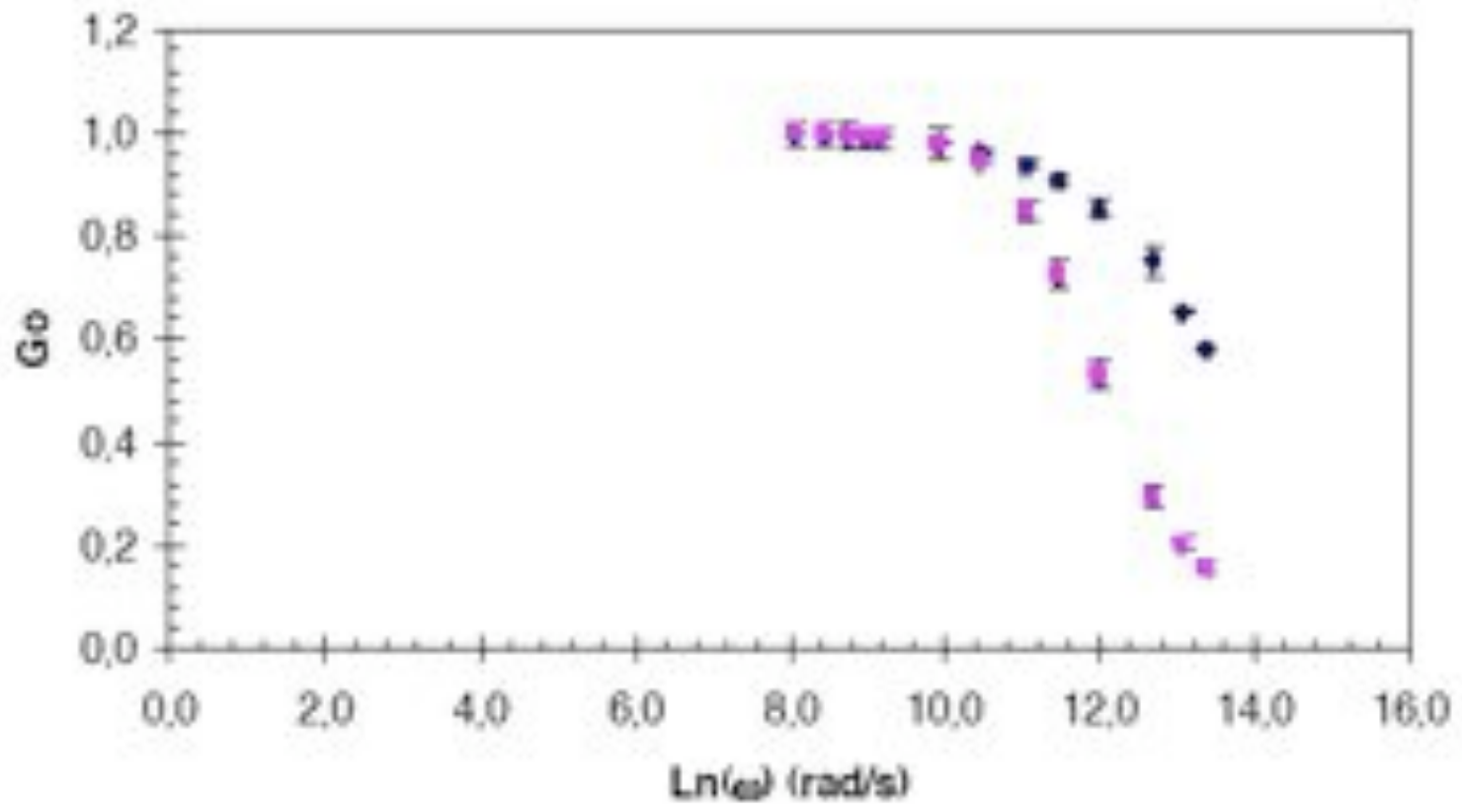


Gráfico 3: Gráfico da amplitude do ganho pelo logaritmo natural da frequência angular.

CASO 4

perceber que eles concordam para valores de frequência baixos, mas que para valores mais altos a compatibilidade não é verificada.

Zc por w em escala logaritmica

R  
= ?

### Ganho por frequência angular

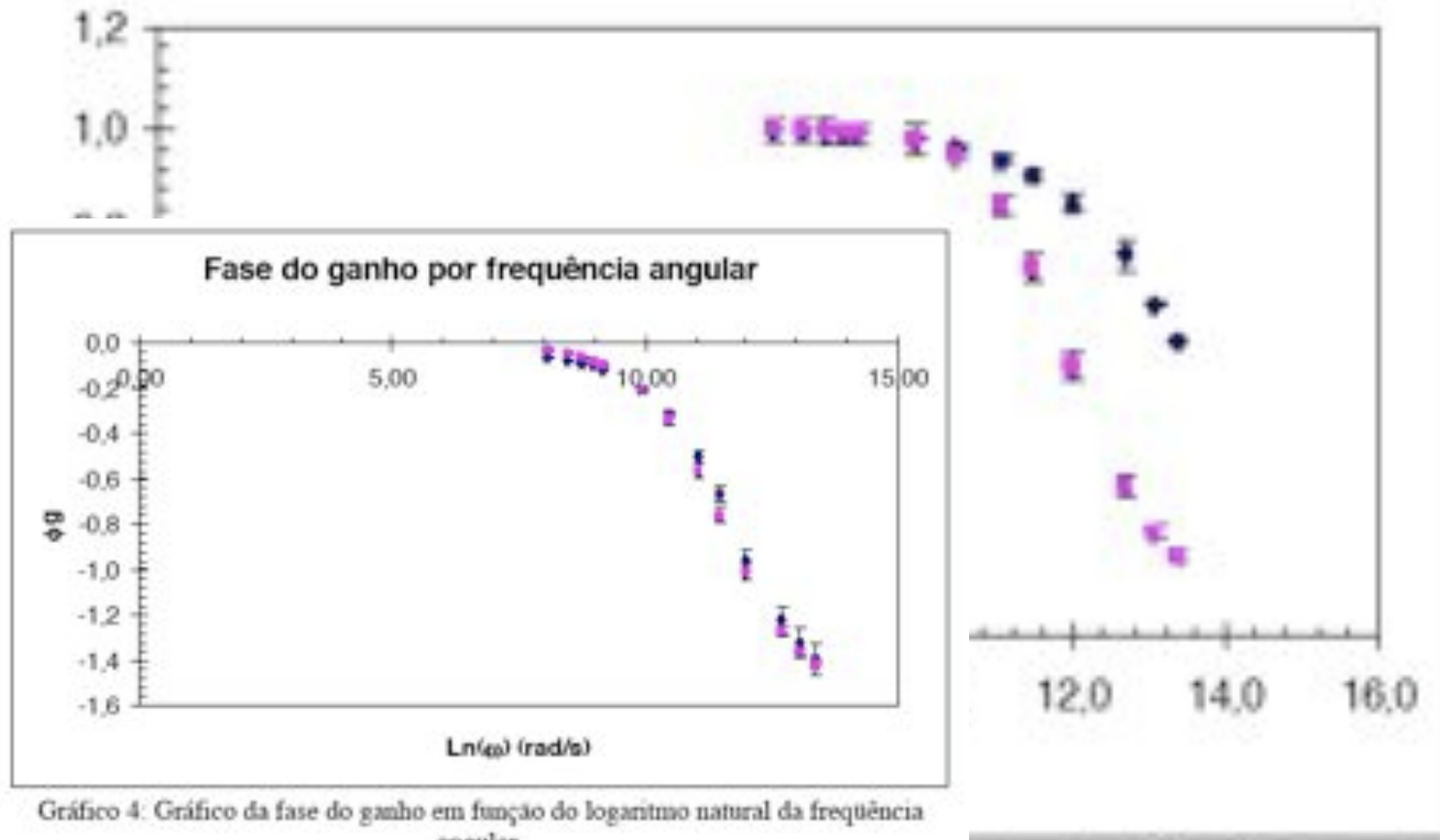


Gráfico 4. Gráfico da fase do ganho em função do logaritmo natural da frequência angular.

natural da frequência angular.

CASO 4 perceber que eles concordam para valores de frequência baixos, mas que para valores mais altos a compatibilidade não é verificada.

C = 1 micro-F

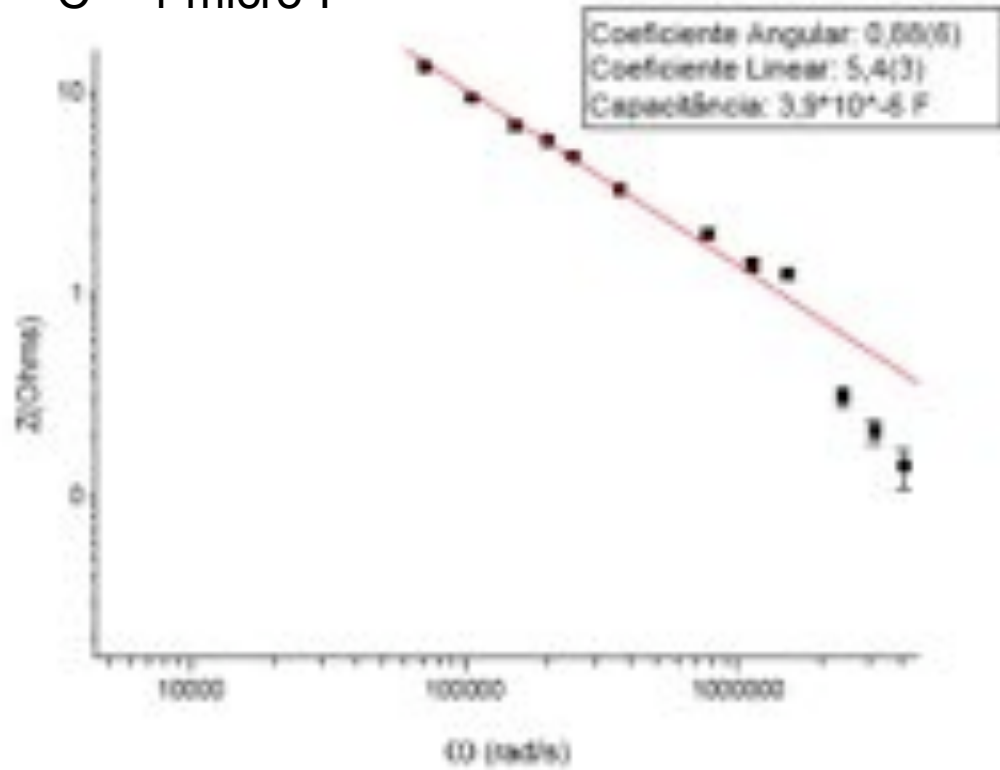


Gráfico 1 – Impedância pela velocidade angular.

## CASO 5



C = 1 micro-F

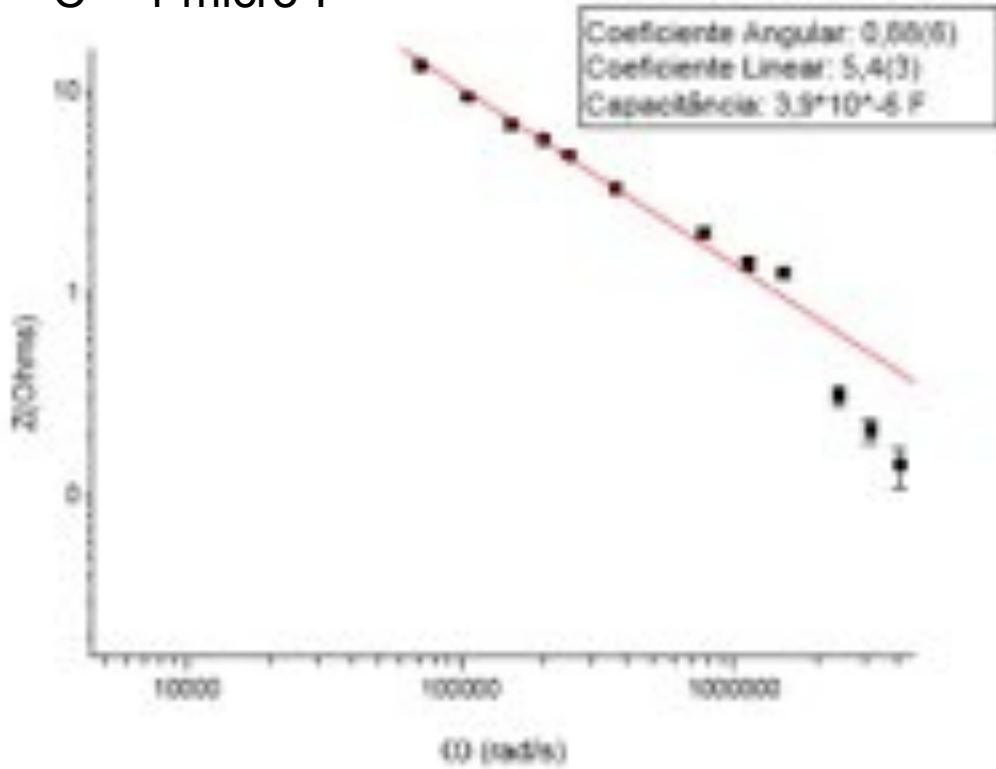


Gráfico 1 - Impedância pela velocidade angular.

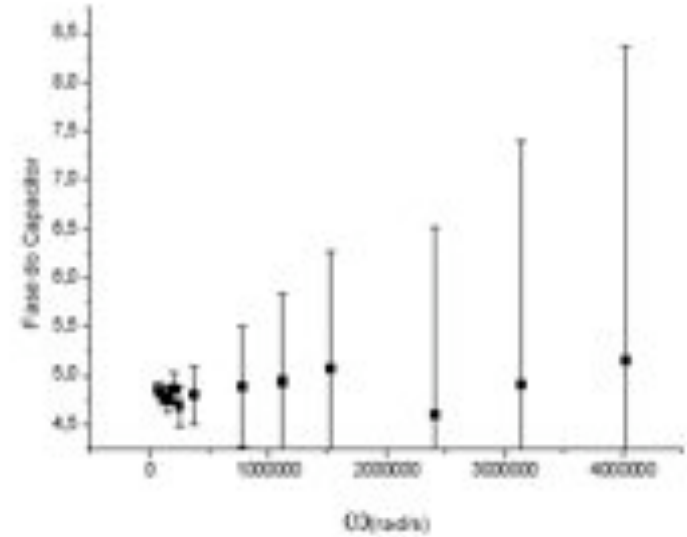


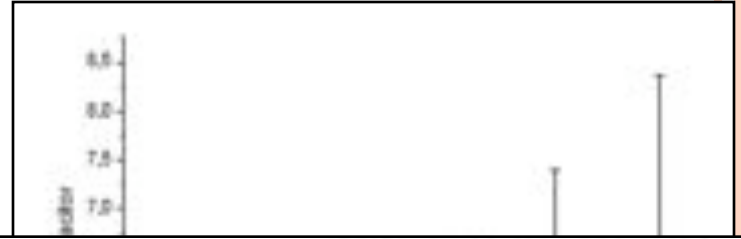
Gráfico 2 - Fase do capacitor em função de  $\omega$ .

## CASO 5

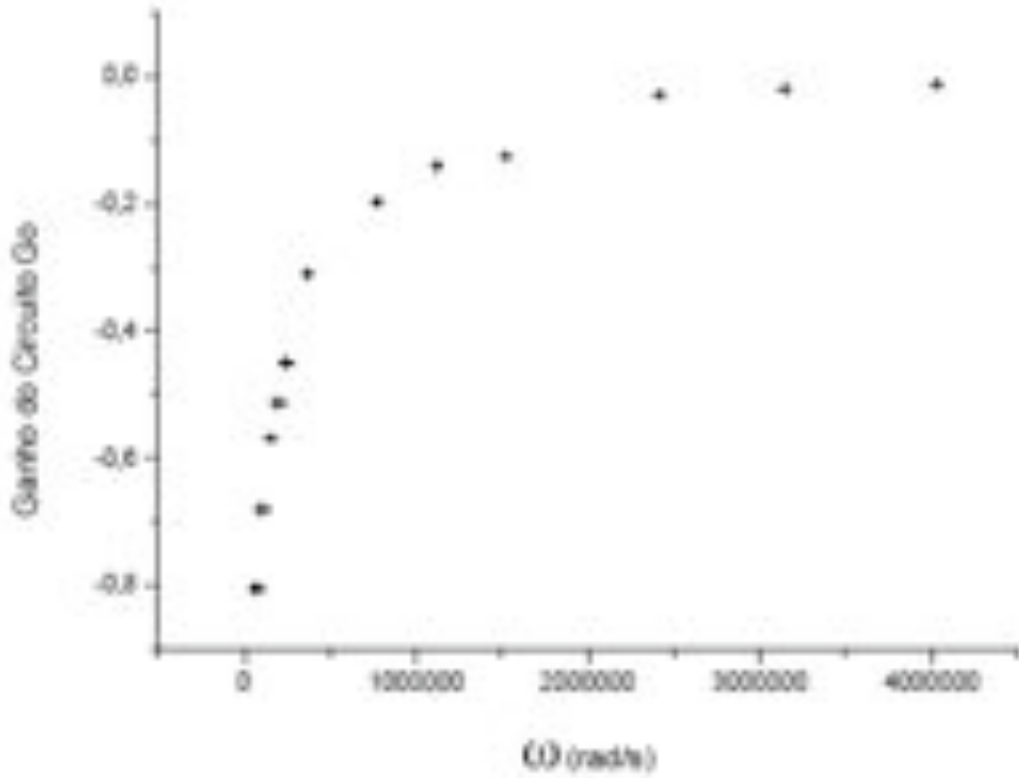


C = 1 micro-F

Coeficiente Angular: 0,66(6)  
Coeficiente Linear: 5,4(3)  
Capacitância:  $3,3 \cdot 10^{-6}$  F



Zj(Ohms)



O gráfico abaixo pode ser ajustado por meio da equação 3, abaixo.

$$G_{\phi} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}}$$

Equação 3

Gráfico 3 – Ganho do circuito em função de ω.

## CASO 5

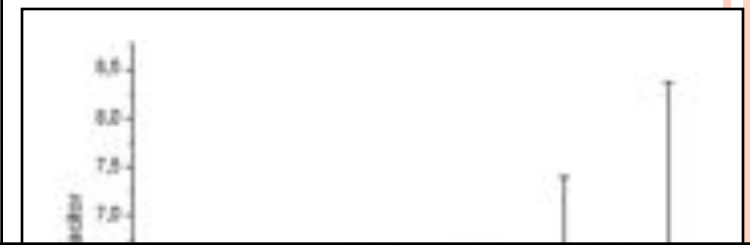




C = 1 micro-F

Coeficiente Angular: 0,66(6)  
 Coeficiente Linear: 5,4(3)  
 Capacitância: 3,3\*10<sup>-6</sup> F

Zj(Ohms)



O gráfico abaixo pode ser ajustado por meio da equação 3, abaixo.

$$G_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_C}\right)^2}}$$

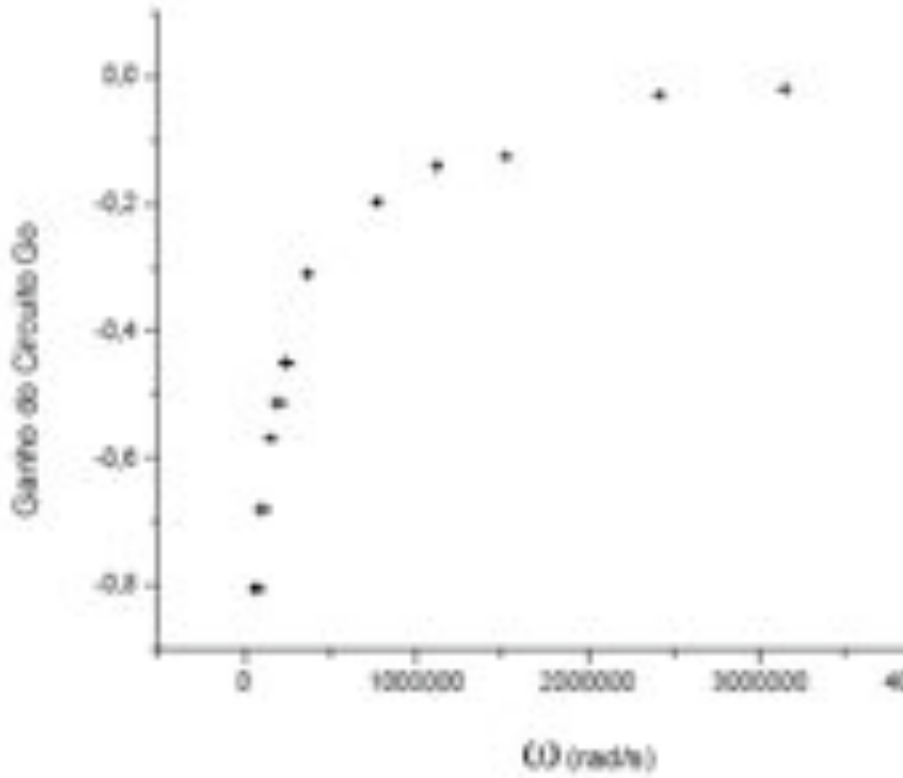


Gráfico 3 - Ganho do circuito em função de ω.

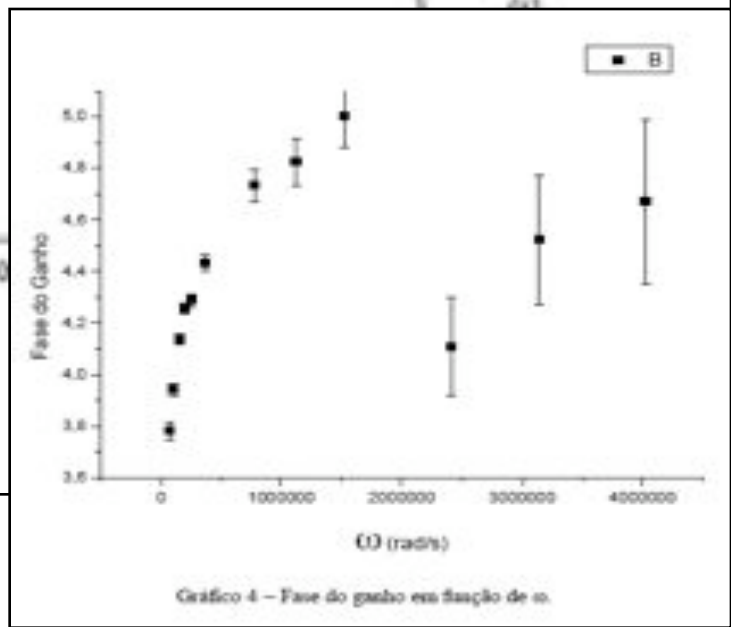
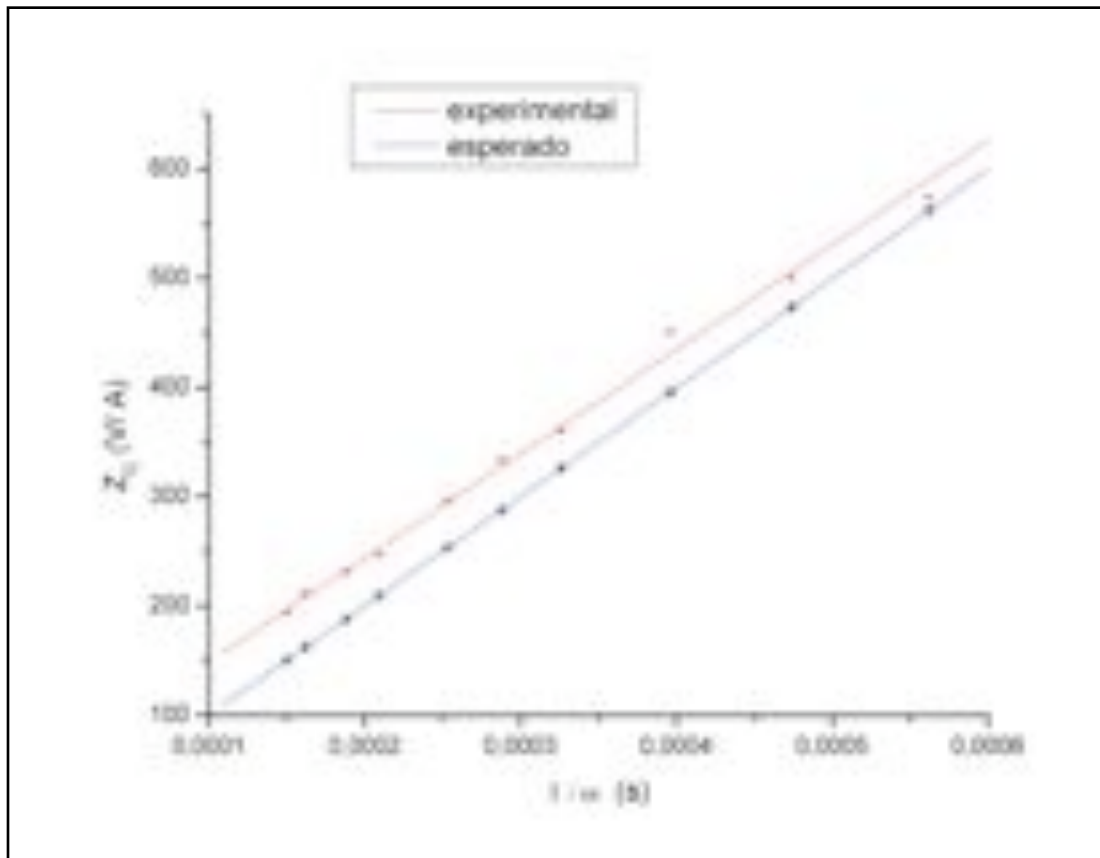


Gráfico 4 - Fase do ganho em função de ω.

CASO 5

$$\phi_G = \arctan\left(\frac{\omega}{\omega_C}\right)$$



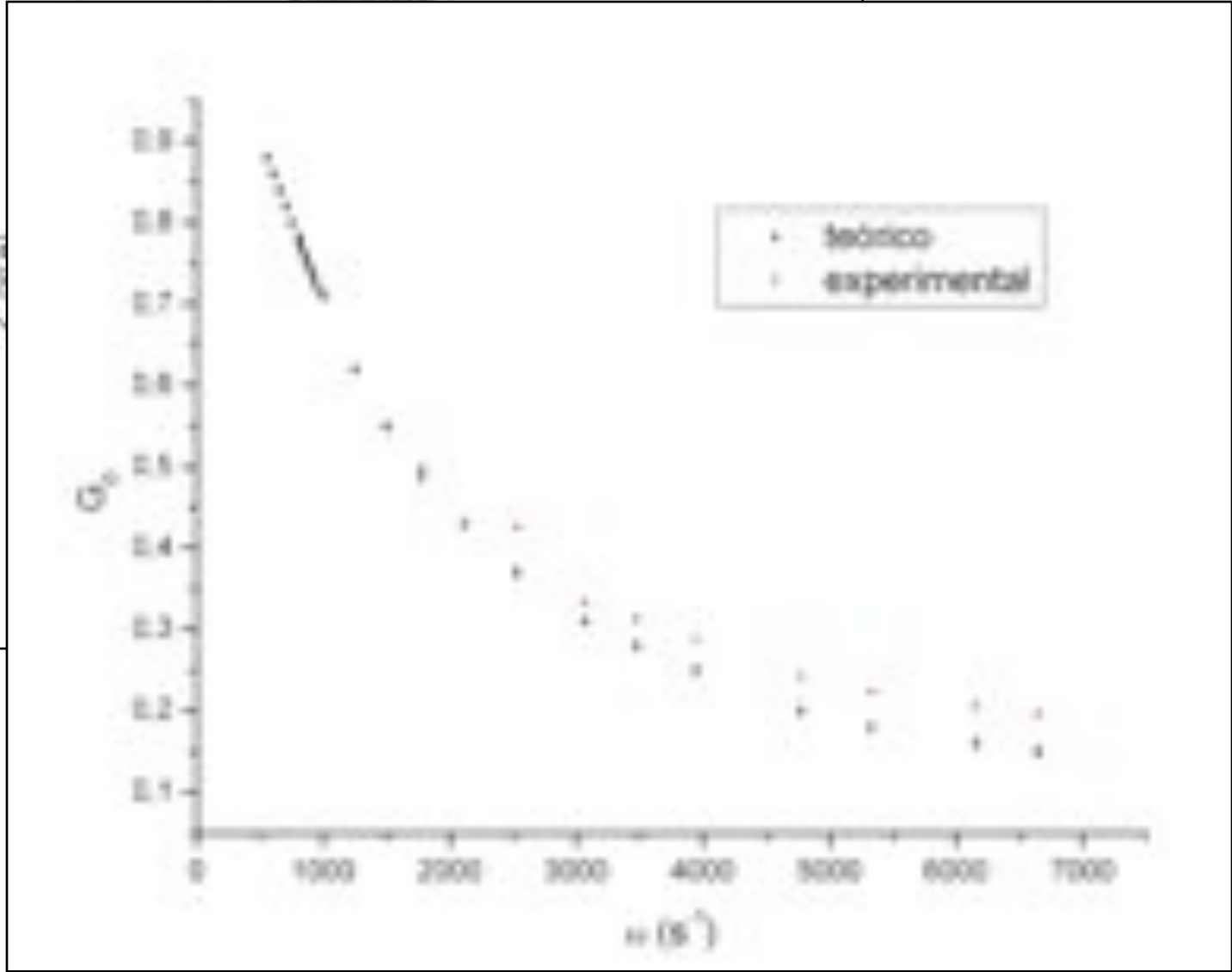
Calculou-se então o valor de C:

$$C = 1,045655 \pm 0,00005$$

que é compatel com o valor nominal de  $1\mu F$ .

## CASO 6





que é comparado com o valor nominal de  $1712$ .

## CASO 6



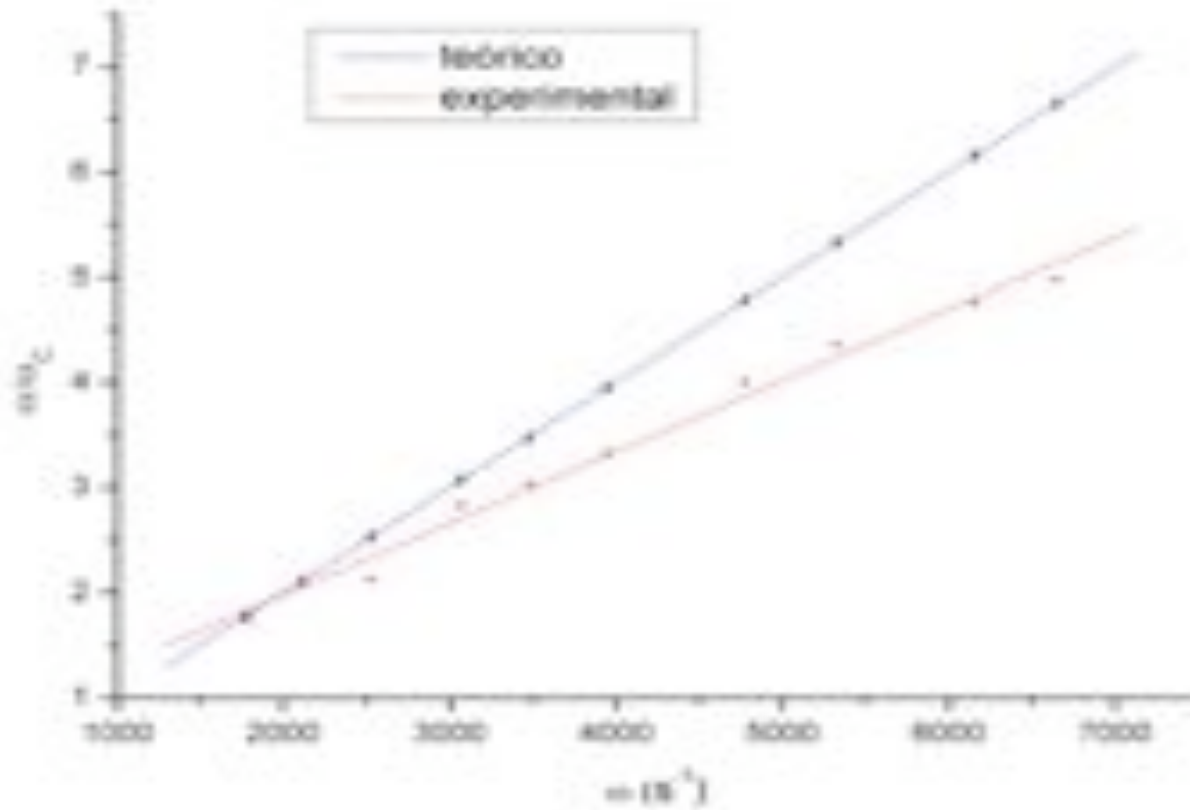


Figura 3:  $\frac{\omega}{\omega_c} \times \omega$ .

## CASO 6



# CIRCUITO INTEGRADOR

- Então:

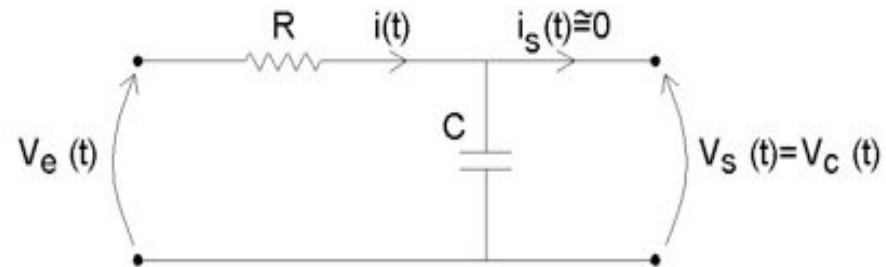
$$\hat{G} = \frac{\hat{V}_s}{\hat{V}_e} = \frac{1}{j\omega RC}$$

- Ou ainda:

$$\hat{V}_s = \frac{1}{j\omega RC} \hat{V}_e$$

- Temos que:

$$\hat{V}_s = \frac{1}{RC} \int \hat{V}_e dt$$



- Lembrando que:  $\hat{V}_e = V_e e^{j\omega t}$

- E que:  $\int \hat{V}_e dt = \frac{1}{j\omega} V_e e^{j\omega t} = \frac{1}{j\omega} \hat{V}_e$

No limite que  $\omega \gg \omega_c$  o circuito acima funciona como integrador da tensão de entrada

$$\frac{dV_s}{dt} = \frac{V_e}{RC}$$

equação 5

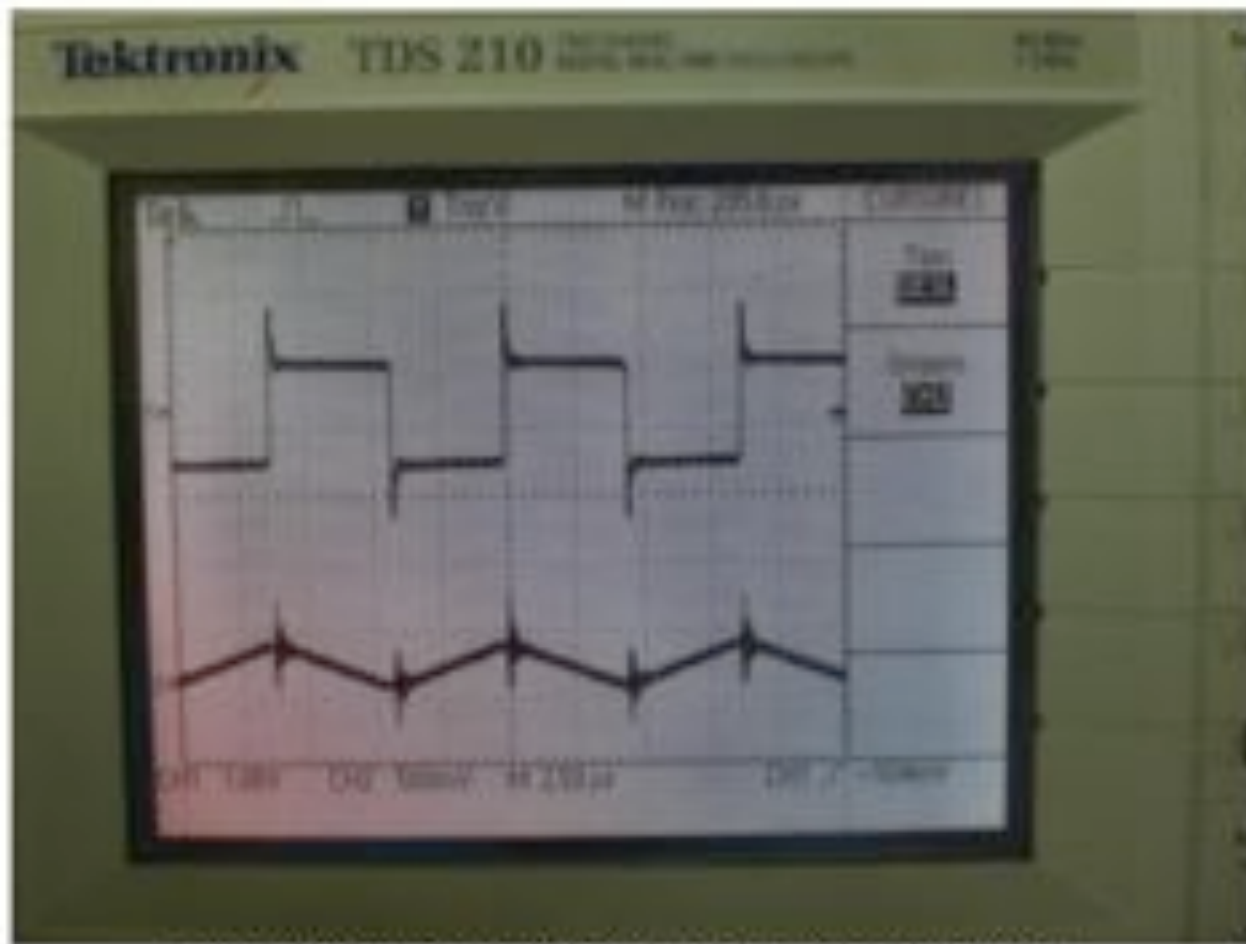


Figura 2: foto da tela do osciloscópio utilizando ondas quadradas.

Onde  $V_s$  é a tensão de saída,  $R$  é a resistência, que é  $10\Omega$ ,  $C$  é a capacitância, que é  $1\mu\text{F}$  e  $V_e$  é a tensão de entrada. O valor da derivada da tensão de entrada é  $(9,1 \pm 0,1) \times 10^4 \text{ V/s}$  e o valor de  $V_e/(RC) = (10,4 \pm 0,5) \times 10^4 \text{ V}/(\Omega\text{F})$ . O valor da tensão de entrada é o valor de tensão do canal 1 menos o valor de tensão do canal 2

# MOTIVAÇÃO

# MOTIVAÇÃO

- A medida do Ganho  $\times f$  do circuito RC, semana passada, foi bastante cansativa
  - Ajustar frequência
  - Medir  $V_e$
  - Medir  $V_c$
  - Repetir procedimento para cada frequência
  - Pelo menos 1 hora de tomada de dados
- Que tal fazer a mesma medida com apenas 1 frequência em 5 minutos?
  - Fundamentos teóricos e novos métodos de análise



# SÉRIES DE FOURIER

- Joseph Fourier, paper submetido em 1807
  - Referees: Lagrange, Laplace, Malus e Legendre
  - Funções trigonométricas podem ser combinadas de tal forma a representar qualquer função matemática

# SÉRIES DE FOURIER

- Joseph Fourier, paper submetido em 1807
  - Referees: Lagrange, Laplace, Malus e Legendre
  - Funções trigonométricas podem ser combinadas de tal forma a representar qualquer função matemática

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_n (a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx))$$

# SÉRIES DE FOURIER

- Joseph Fourier, paper submetido em 1807
  - Referees: Lagrange, Laplace, Malus e Legendre
  - Funções trigonométricas podem ser combinadas de tal forma a representar qualquer função matemática

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_n (a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx))$$

- As constantes  $a_n$  e  $b_n$  podem ser obtidas a partir de

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx$$

# SÉRIES DE FOURIER

- Hoje em dia, usamos formalismos mais abrangentes

# SÉRIES DE FOURIER

- Hoje em dia, usamos formalismos mais abrangentes

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jnx}$$

Use a fórmula de Euler e substitua na expressão anterior.  
 $e^{jx} = \cos x + j \sin x$

# SÉRIES DE FOURIER

- Hoje em dia, usamos formalismos mais abrangentes

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jnx}$$

Use a fórmula de Euler e substitua na expressão anterior.  
 $e^{jx} = \cos x + j \sin x$

- Com:

$$c_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) e^{-jnx} dx$$

# SÉRIES DE FOURIER

- Hoje em dia, usamos formalismos mais abrangentes

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jnx}$$

Use a fórmula de Euler e substitua na expressão anterior.  
 $e^{jx} = \cos x + j \sin x$

- Com: 
$$c_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) e^{-jnx} dx$$

- As constantes  $a_n$  e  $b_n$  da expressão tradicional podem ser obtidas como:

# SÉRIES DE FOURIER

- Hoje em dia, usamos formalismos mais abrangentes

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jnx}$$

Use a fórmula de Euler e substitua na expressão anterior.  
 $e^{jx} = \cos x + j \sin x$

- Com: 
$$c_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) e^{-jnx} dx$$

- As constantes  $a_n$  e  $b_n$  da expressão tradicional podem ser obtidas como:

$$a_n = c_n + c_{-n}, \text{ com } n = 0, 1, 2, \dots$$

$$b_n = j(c_n - c_{-n}), \text{ com } n = 0, 1, 2, \dots$$

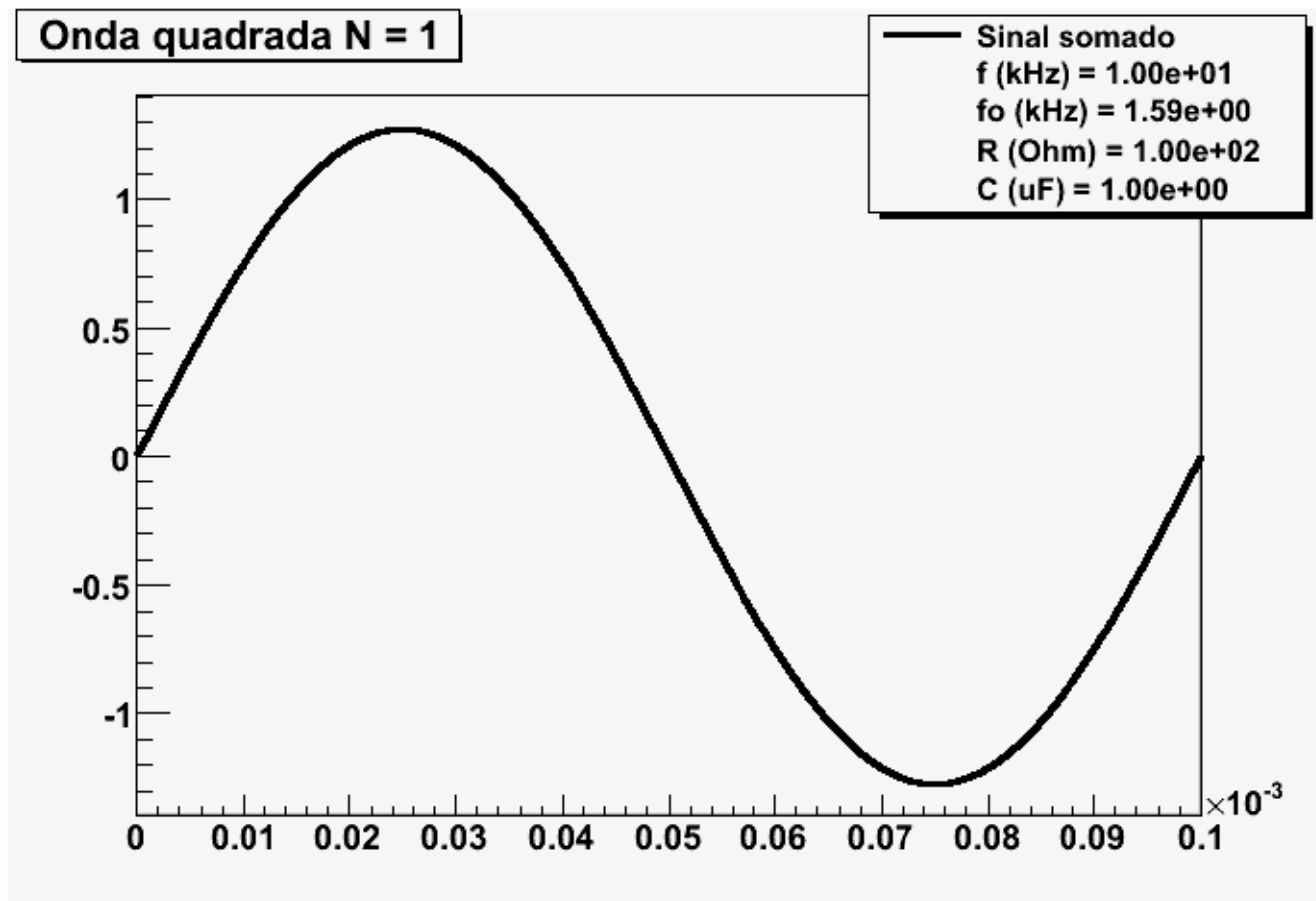


# EXEMPLO: ONDA QUADRADA

$$V(t) = V_0 \left[ \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$

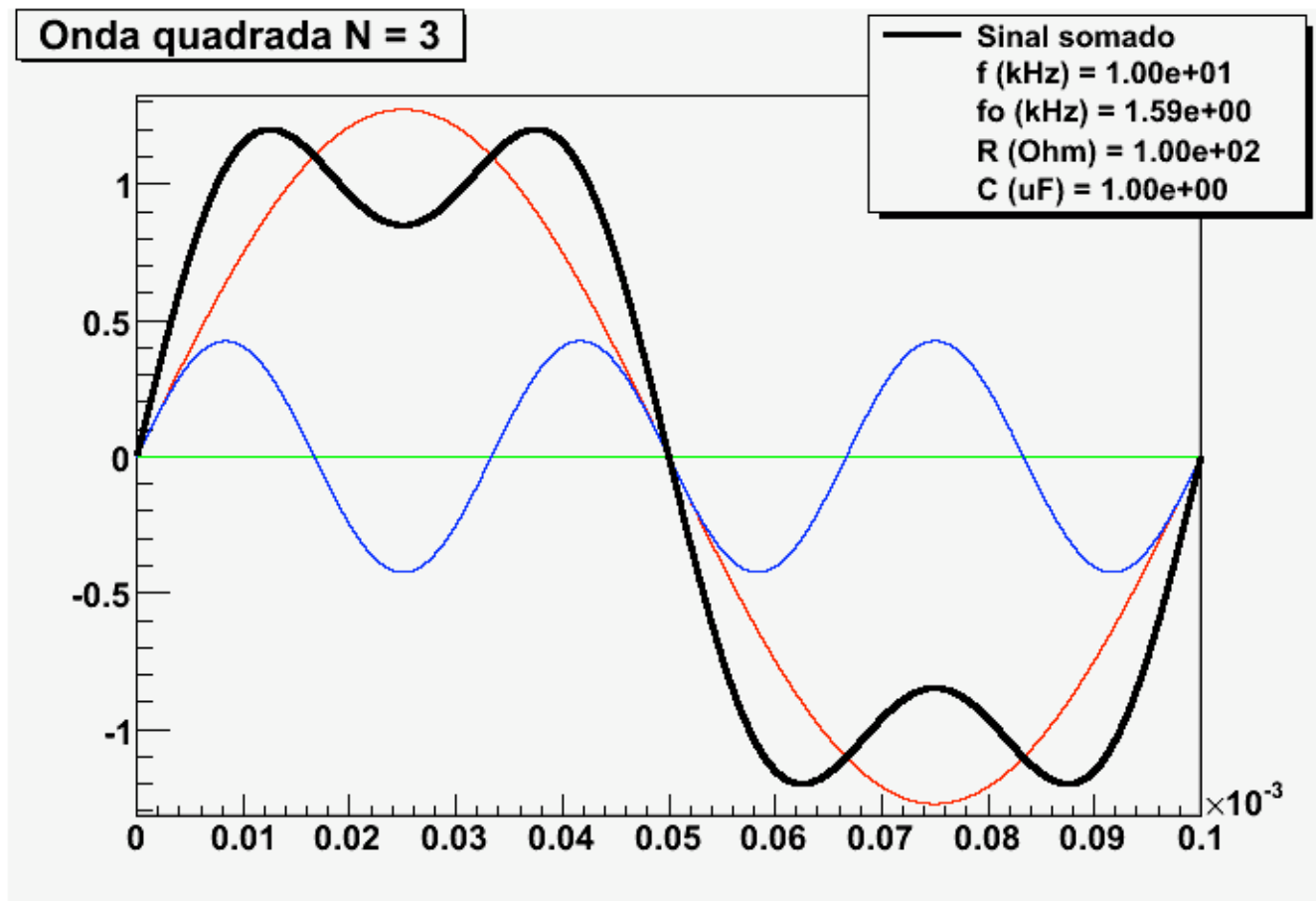
# EXEMPLO: ONDA QUADRADA

$$V(t) = V_0 \left[ \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$



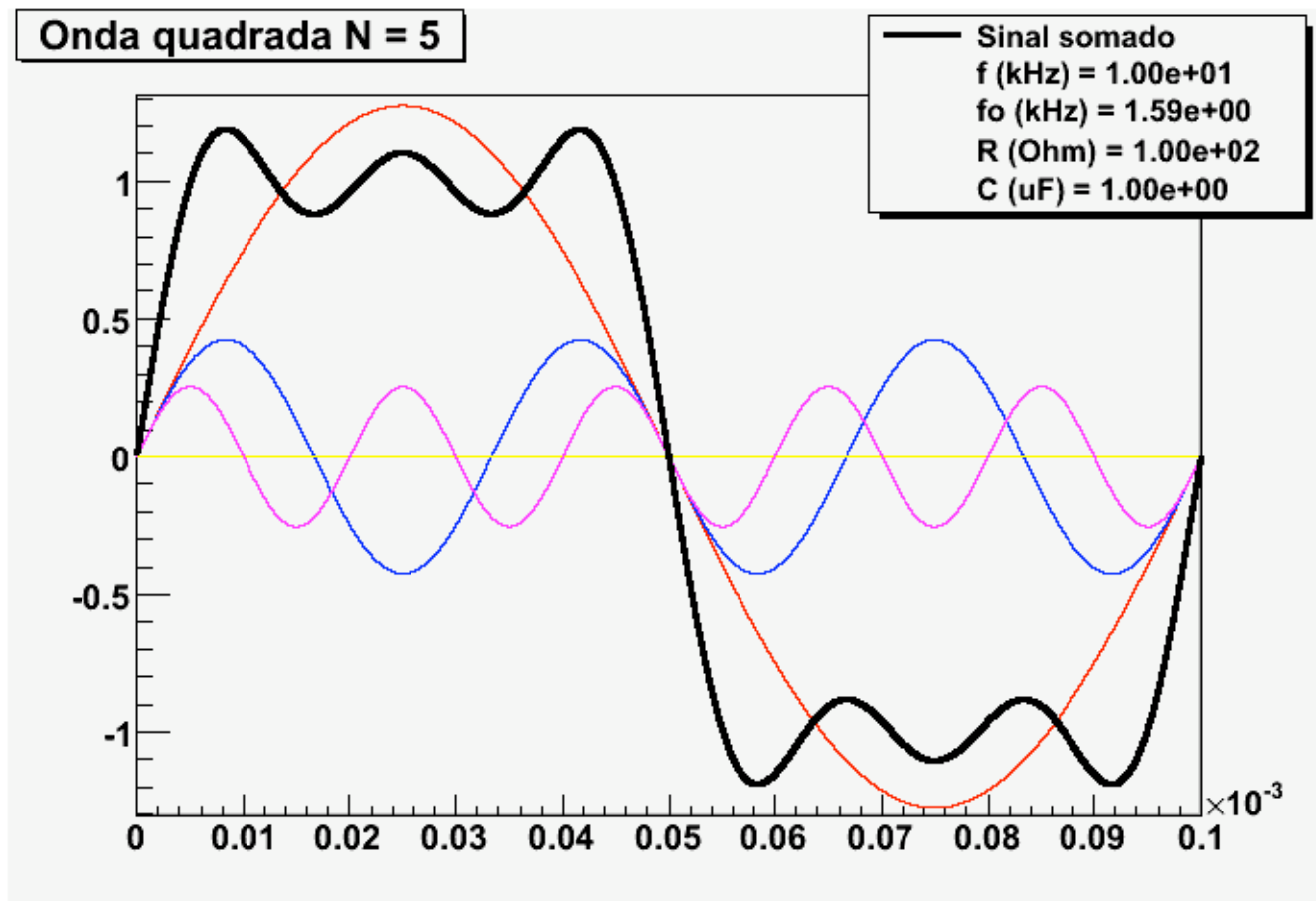
# EXEMPLO: ONDA QUADRADA

$$V(t) = V_0 \left[ \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$



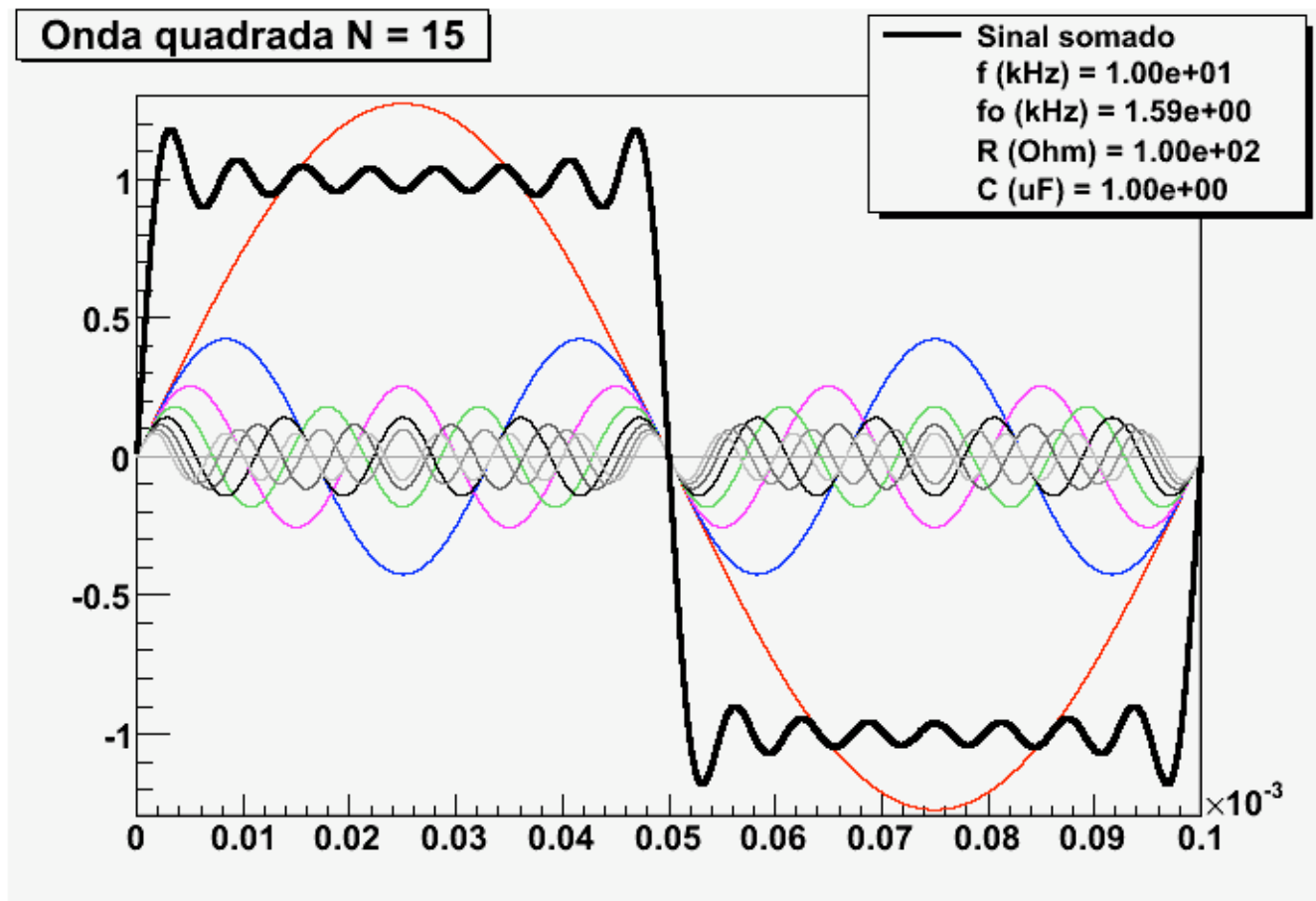
# EXEMPLO: ONDA QUADRADA

$$V(t) = V_0 \left[ \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$



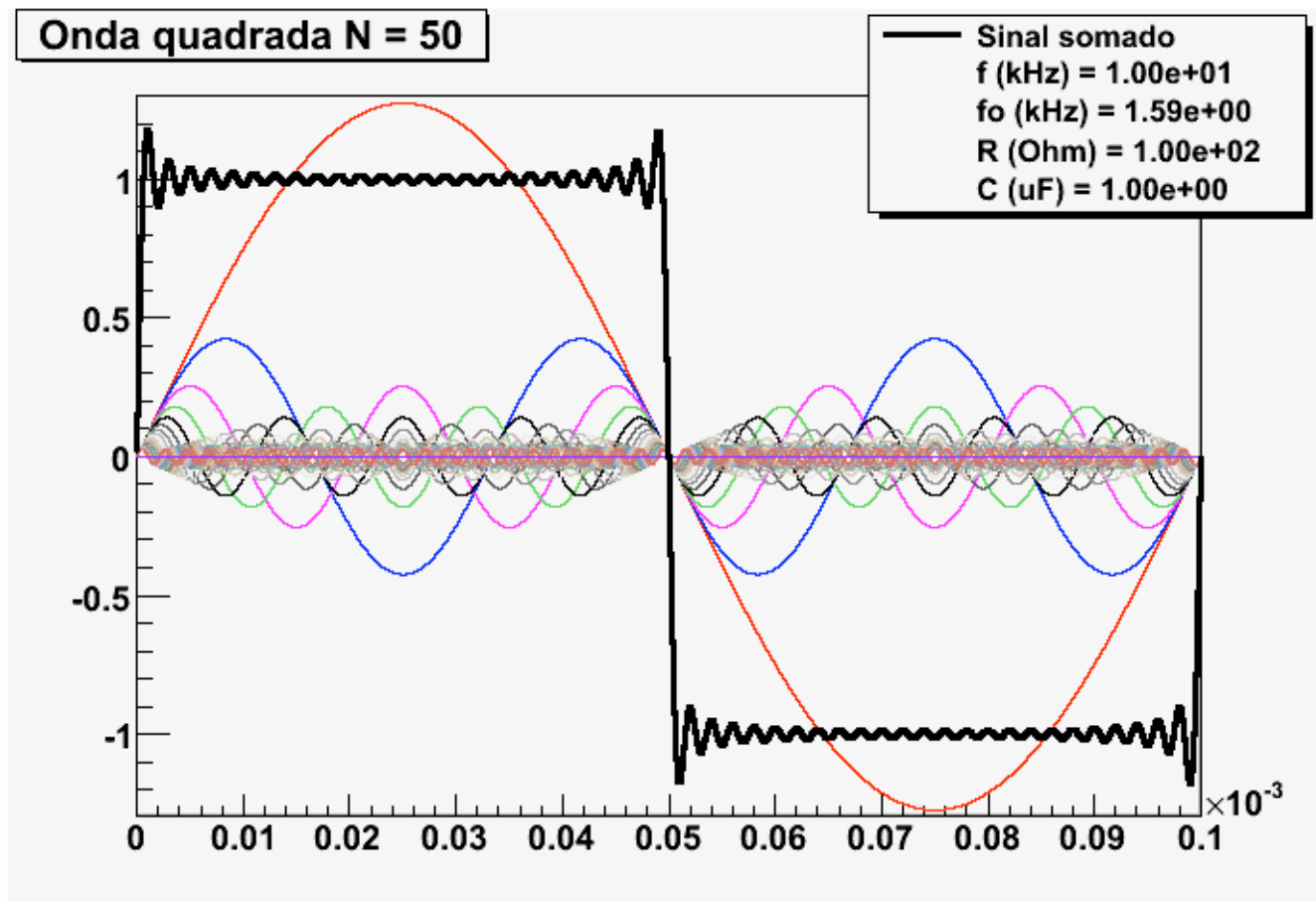
# EXEMPLO: ONDA QUADRADA

$$V(t) = V_0 \left[ \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$



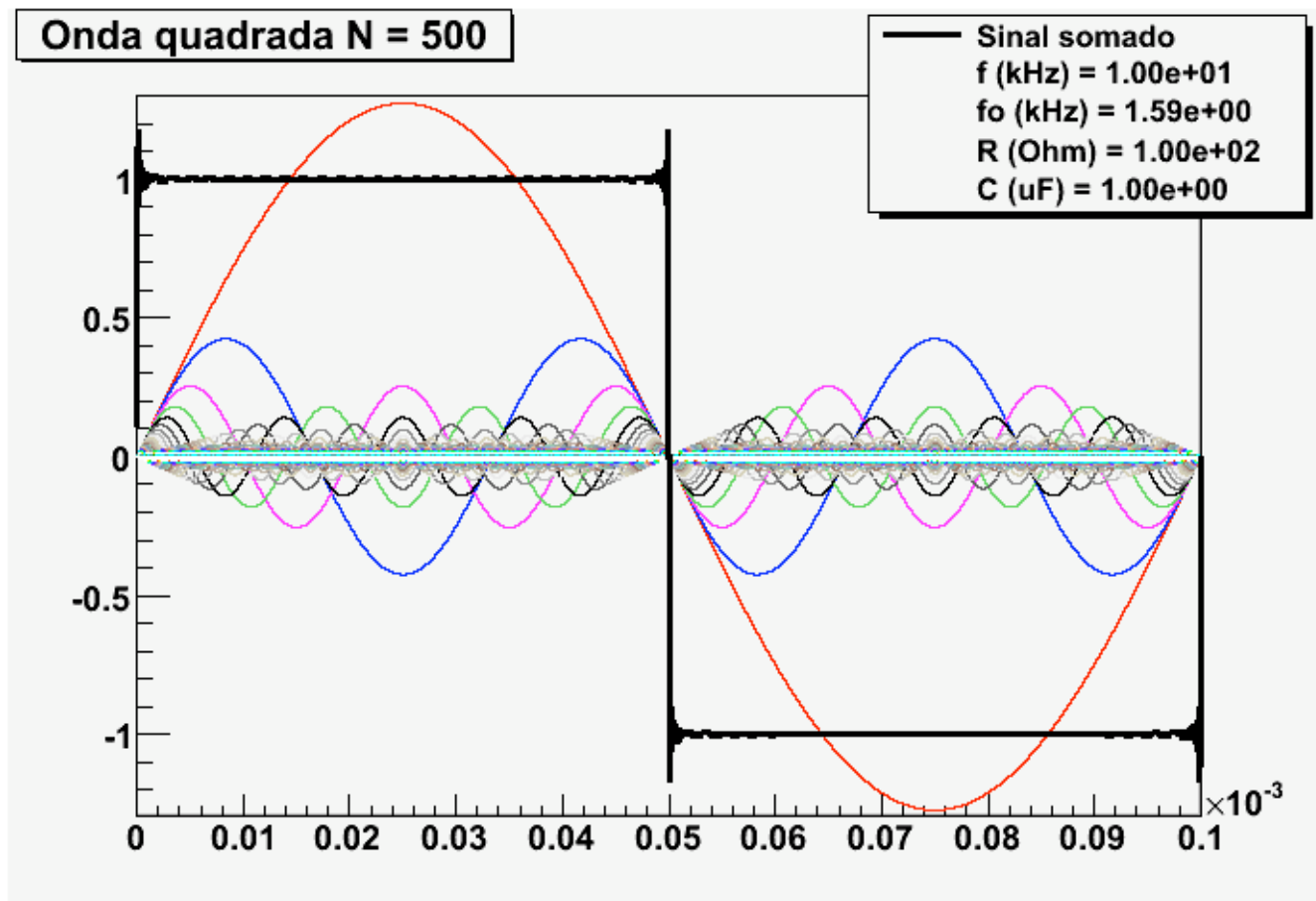
# EXEMPLO: ONDA QUADRADA

$$V(t) = V_0 \left[ \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$



# EXEMPLO: ONDA QUADRADA

$$V(t) = V_0 \left[ \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$



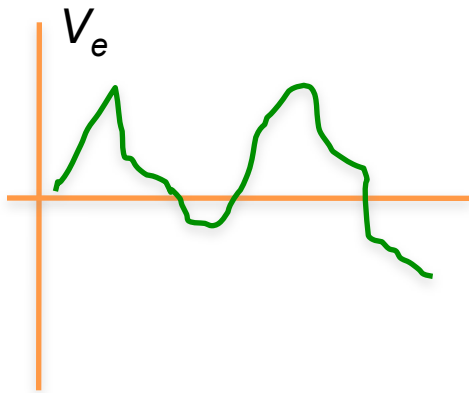
# SÉRIES DE FOURIER

- Circuitos podem causar distorções em sinais elétricos



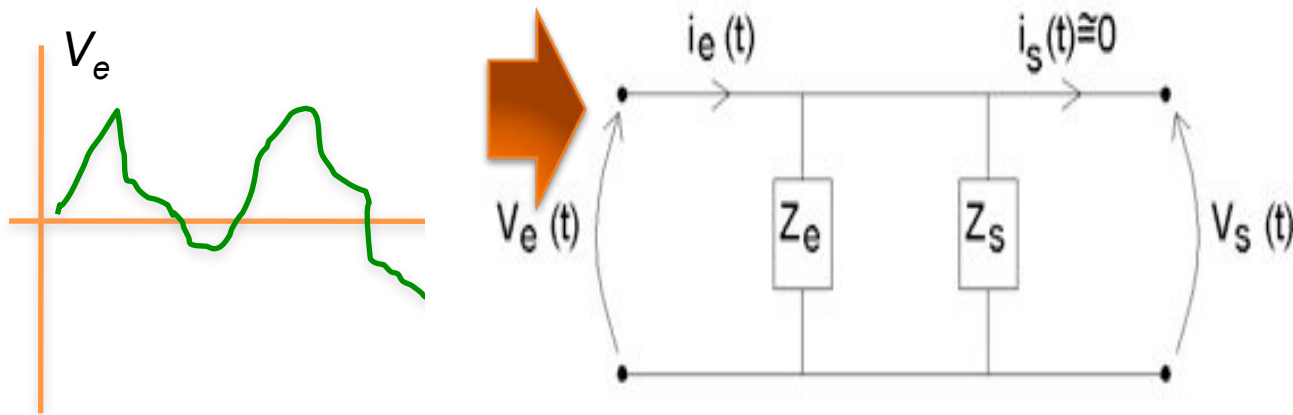
# SÉRIES DE FOURIER

- Circuitos podem causar distorções em sinais elétricos



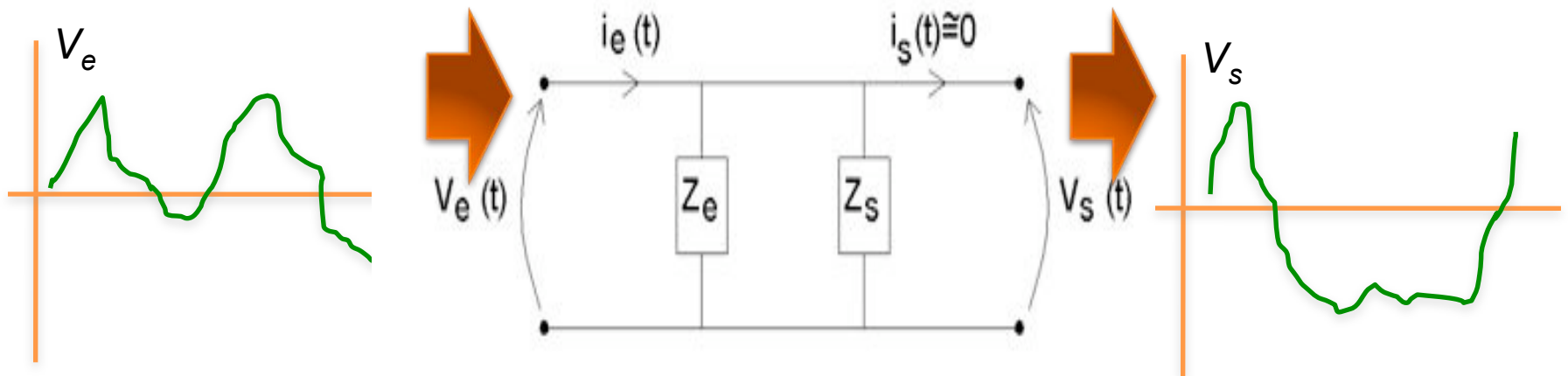
# SÉRIES DE FOURIER

- Circuitos podem causar distorções em sinais elétricos



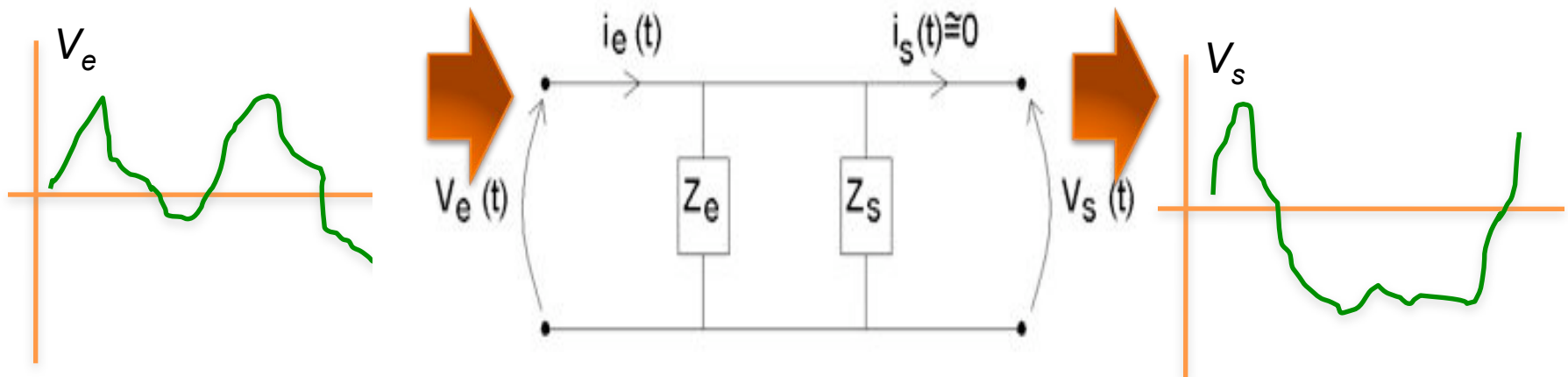
# SÉRIES DE FOURIER

- Circuitos podem causar distorções em sinais elétricos



# SÉRIES DE FOURIER

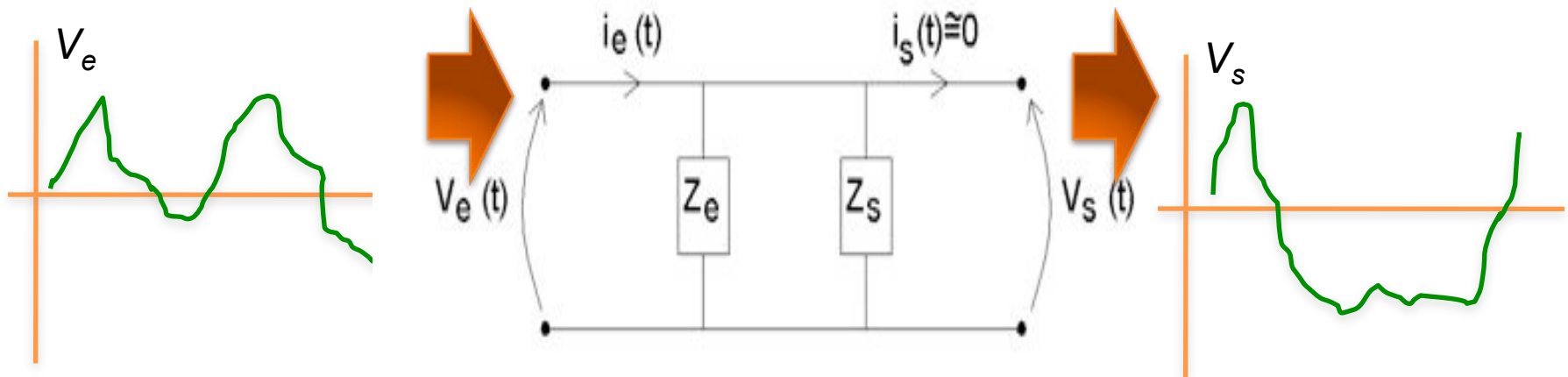
- Circuitos podem causar distorções em sinais elétricos



$$V_e = \left[ \begin{array}{l} V_1^s \sin(\omega_1 t) + \\ V_1^c \cos(\omega_1 t) + \\ V_2^s \sin(\omega_2 t) + \\ V_2^c \cos(\omega_2 t) + \\ \dots + \\ V_N^s \sin(\omega_N t) + \\ V_N^c \cos(\omega_N t) \end{array} \right]$$

# SÉRIES DE FOURIER

- Circuitos podem causar distorções em sinais elétricos



$$V_e = \left[ \begin{array}{l} V_1^s \sin(\omega_1 t) + \\ V_1^c \cos(\omega_1 t) + \\ V_2^s \sin(\omega_2 t) + \\ V_2^c \cos(\omega_2 t) + \\ \dots + \\ V_N^s \sin(\omega_N t) + \\ V_N^c \cos(\omega_N t) \end{array} \right]$$

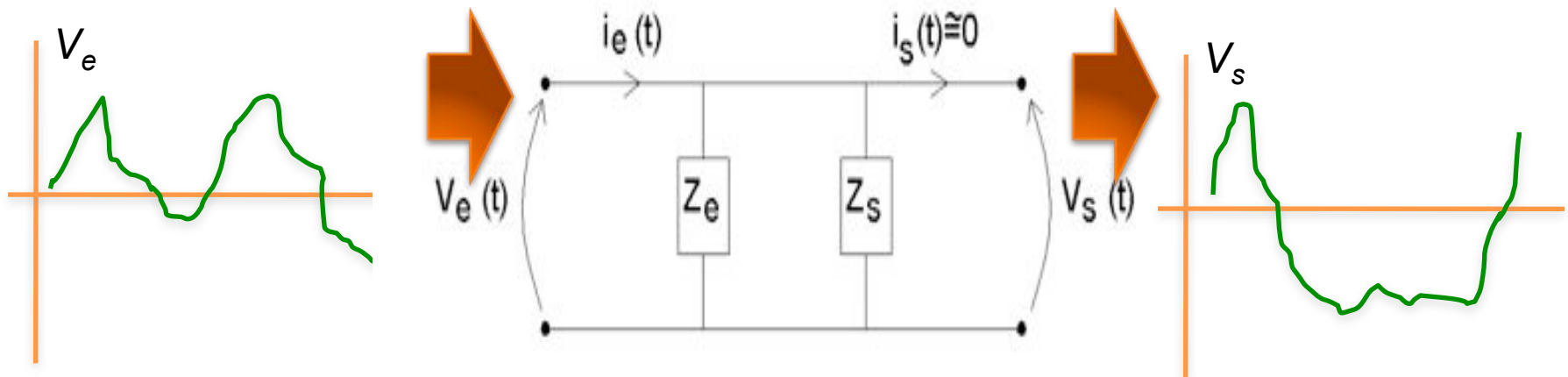


$$G_i = G(\omega_i, R, C, \dots)$$

$$\phi_i = \phi(\omega_i, R, C, \dots)$$

# SÉRIES DE FOURIER

- Circuitos podem causar distorções em sinais elétricos



$$V_e = \begin{bmatrix} V_1^s \sin(\omega_1 t) + \\ V_1^c \cos(\omega_1 t) + \\ V_2^s \sin(\omega_2 t) + \\ V_2^c \cos(\omega_2 t) + \\ \dots + \\ V_N^s \sin(\omega_N t) + \\ V_N^c \cos(\omega_N t) \end{bmatrix}$$



$$G_i = G(\omega_i, R, C, \dots)$$

$$\phi_i = \phi(\omega_i, R, C, \dots)$$



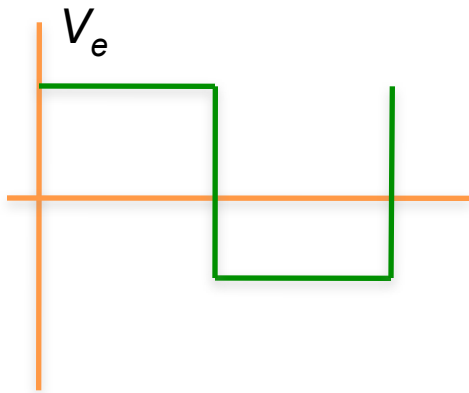
$$V_e = \begin{bmatrix} G_1 \cdot V_1^s \sin(\omega_1 t + \phi_1) + \\ G_1 \cdot V_1^c \cos(\omega_1 t + \phi_1) + \\ G_2 \cdot V_2^s \sin(\omega_2 t + \phi_2) + \\ G_2 \cdot V_2^c \cos(\omega_2 t + \phi_2) + \\ \dots + \\ G_N \cdot V_N^s \sin(\omega_N t + \phi_N) + \\ G_N \cdot V_N^c \cos(\omega_N t + \phi_N) \end{bmatrix}$$

# SÉRIES DE FOURIER

- O que acontece com uma onda quadrada em um filtro RC?

# SÉRIES DE FOURIER

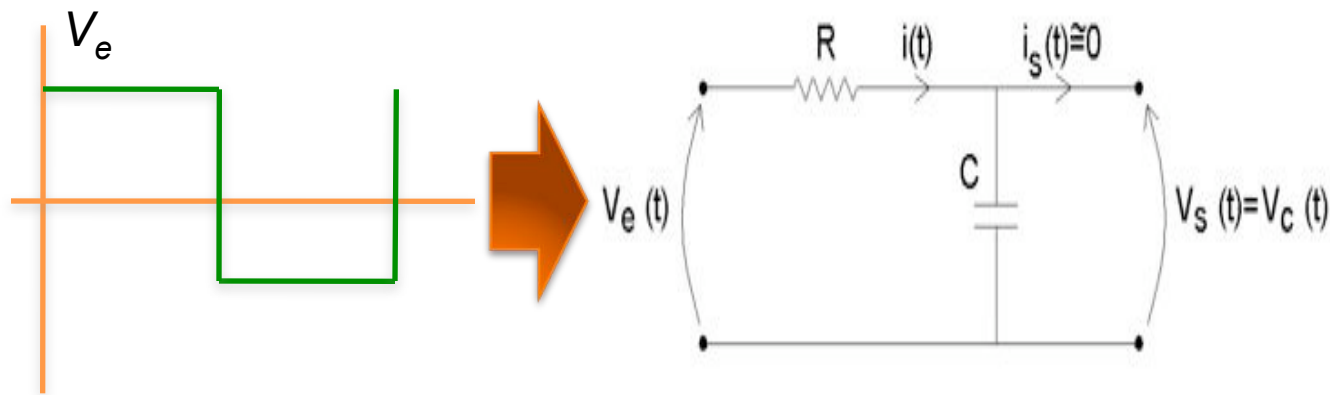
- O que acontece com uma onda quadrada em um filtro RC?





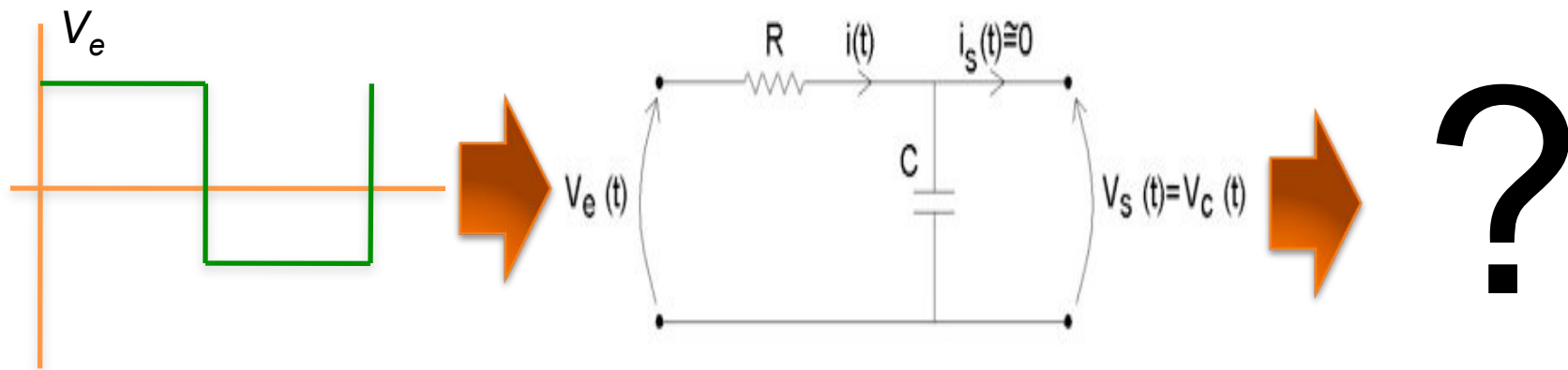
# SÉRIES DE FOURIER

- O que acontece com uma onda quadrada em um filtro RC?



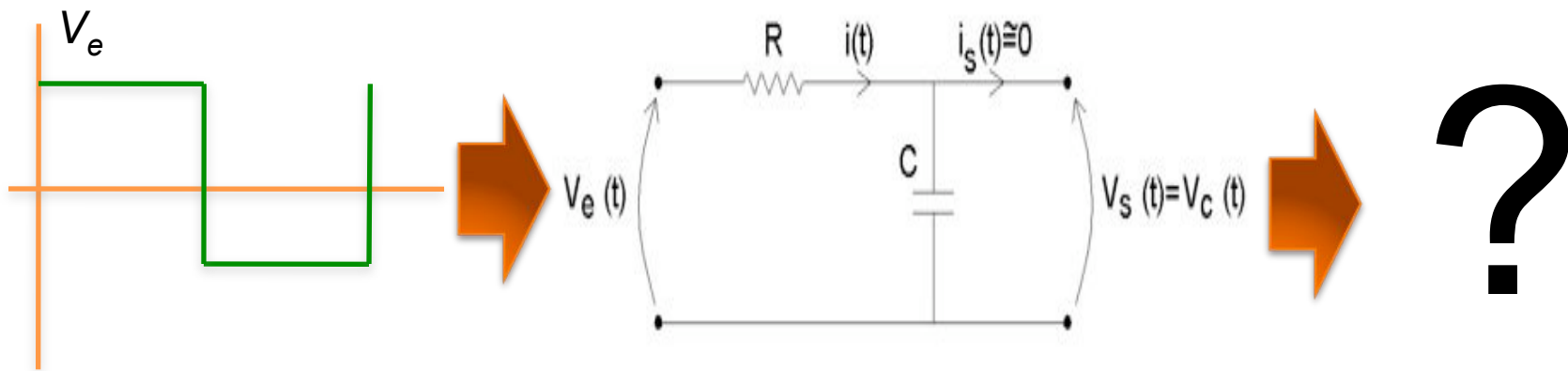
# SÉRIES DE FOURIER

- O que acontece com uma onda quadrada em um filtro RC?



# SÉRIES DE FOURIER

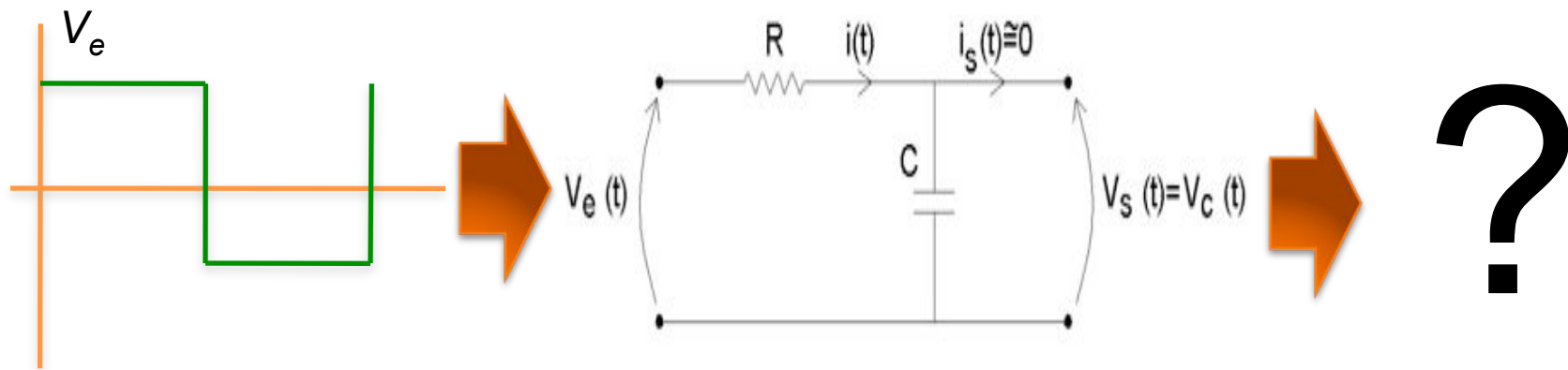
- O que acontece com uma onda quadrada em um filtro RC?



$$V_e = V_0 \left[ \begin{array}{l} \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \\ \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \\ \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \end{array} \right]$$

# SÉRIES DE FOURIER

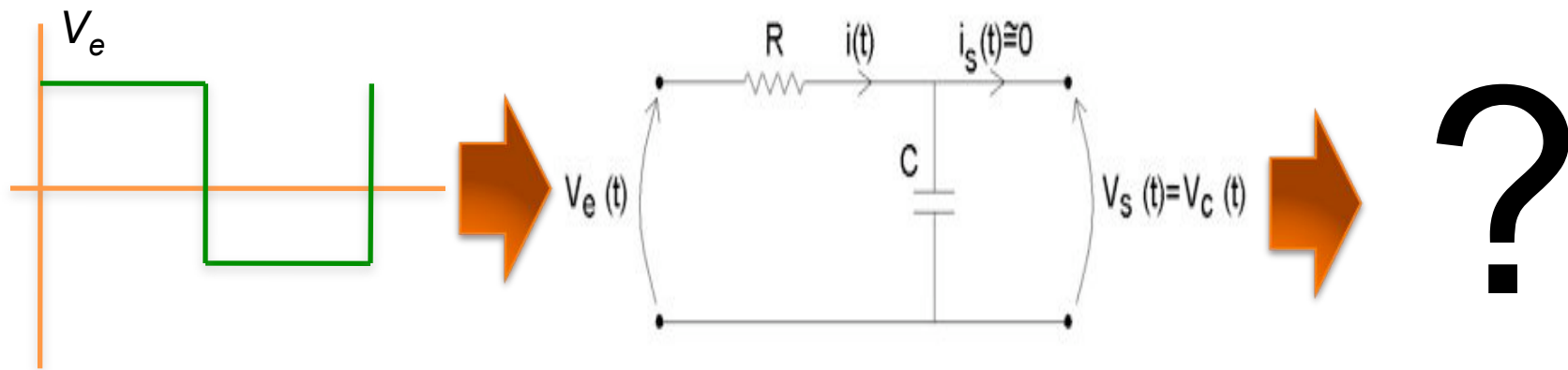
- O que acontece com uma onda quadrada em um filtro RC?



$$V_e = V_0 \left[ \begin{array}{l} \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \\ \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \\ \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \end{array} \right] \rightarrow \begin{array}{l} G(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}} \\ \phi(\omega) = \arctan\left(-\frac{\omega}{\omega_c}\right) \end{array}$$

# SÉRIES DE FOURIER

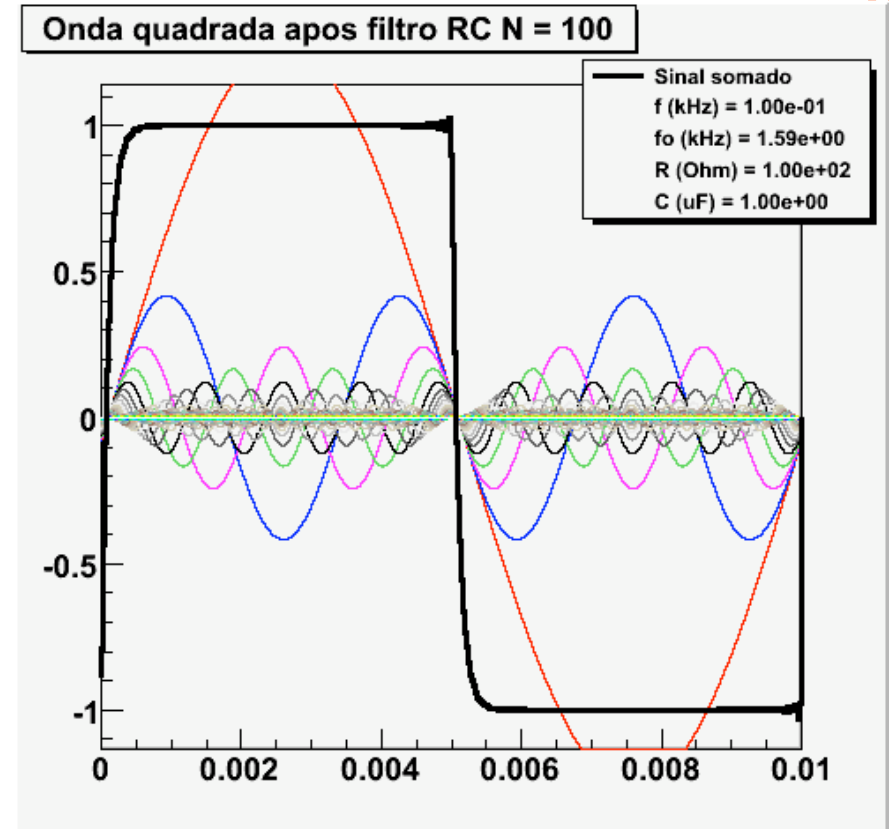
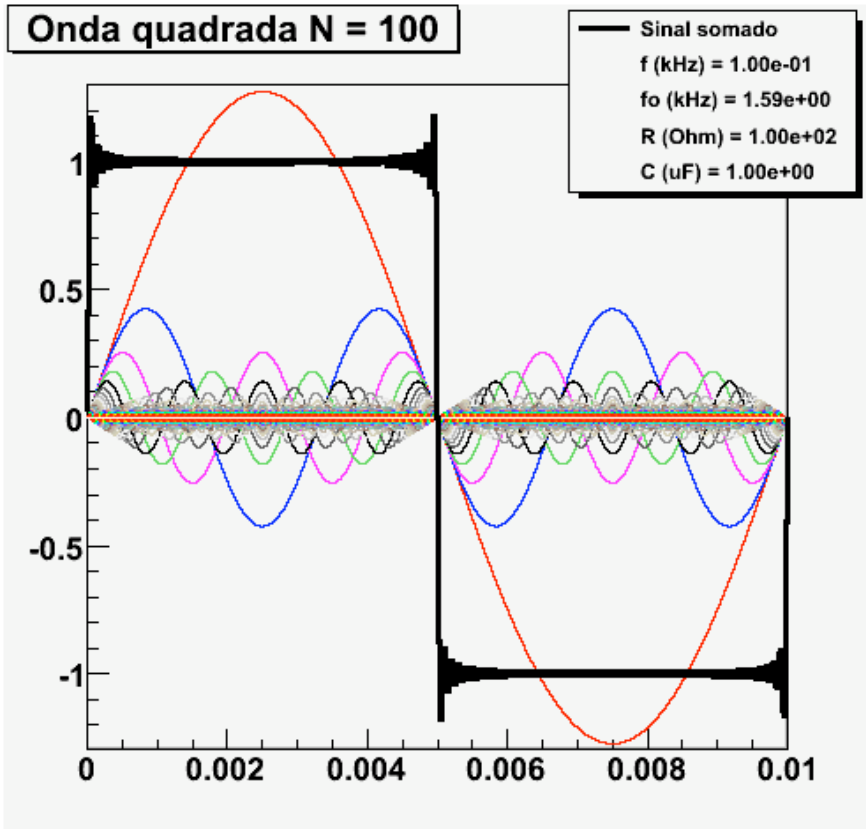
- O que acontece com uma onda quadrada em um filtro RC?



$$\begin{aligned}
 & \left[ \begin{array}{l} \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \\ \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \\ \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \end{array} \right] \Rightarrow G(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_C}\right)^2}} \Rightarrow V_S = V_0 \left[ \begin{array}{l} G_\omega \cdot \frac{4}{\pi} \sin(\omega t + \phi_\omega) + \\ G_{3\omega} \cdot \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t + \phi_{3\omega}) + \\ G_{5\omega} \cdot \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t + \phi_{5\omega}) + \dots \end{array} \right] \\
 & \phi(\omega) = \arctan\left(-\frac{\omega}{\omega_C}\right)
 \end{aligned}$$

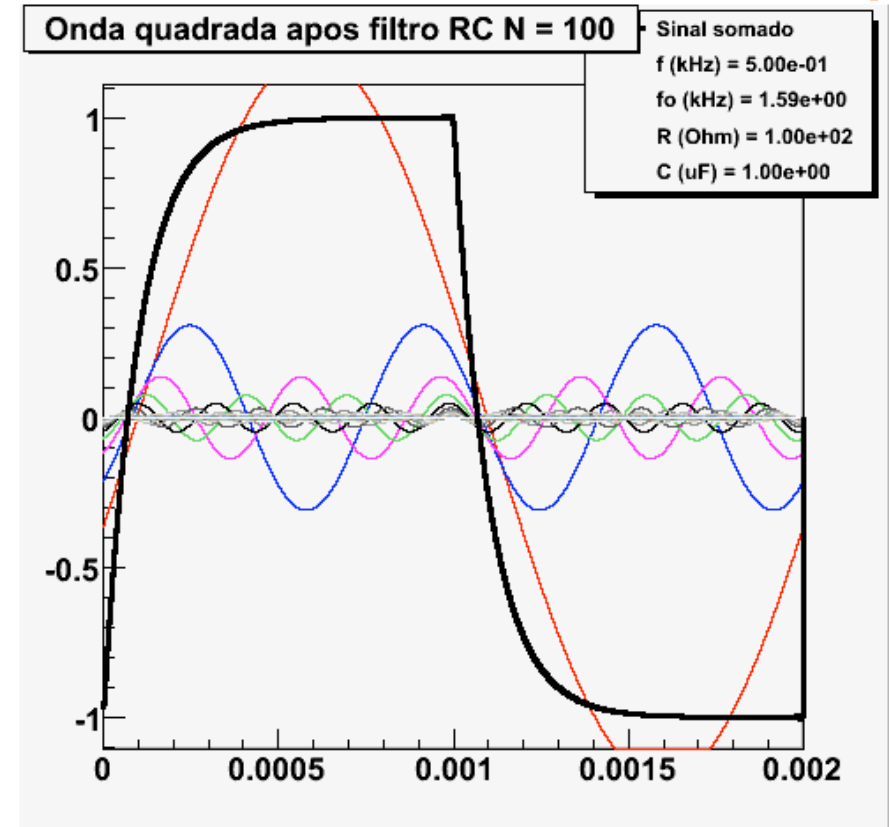
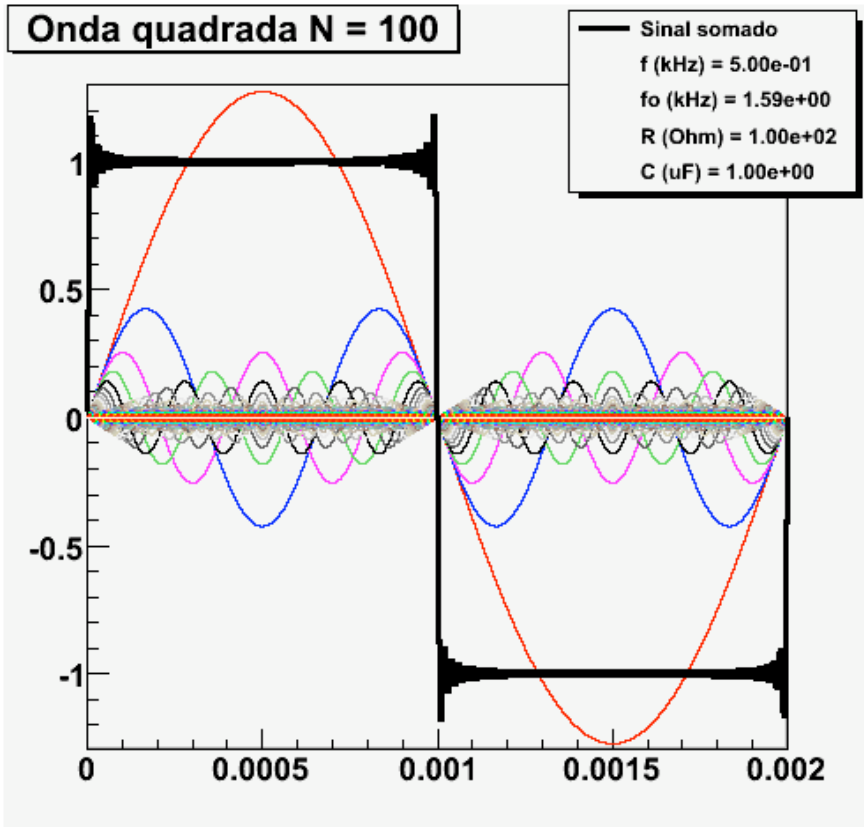
# FILTRO RC ( $R = 1 \Omega$ , $C = 1 \mu\text{F}$ ) $\rightarrow F_c \sim 1.5 \text{ KHZ}$

$$f_{\text{sinal}} = 100 \text{ Hz}$$



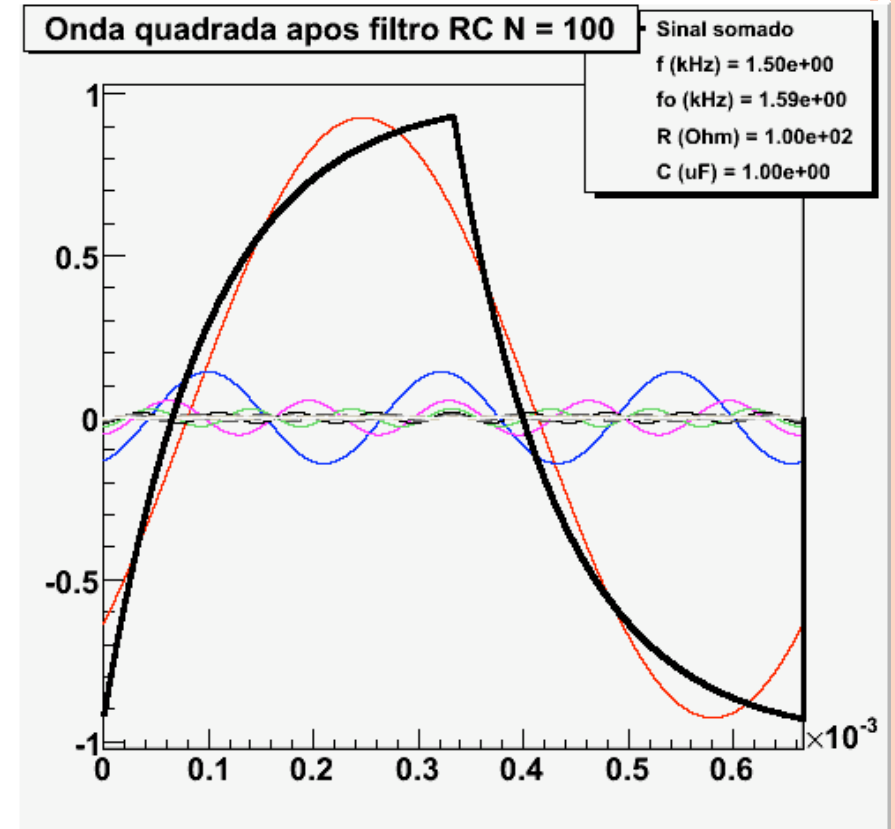
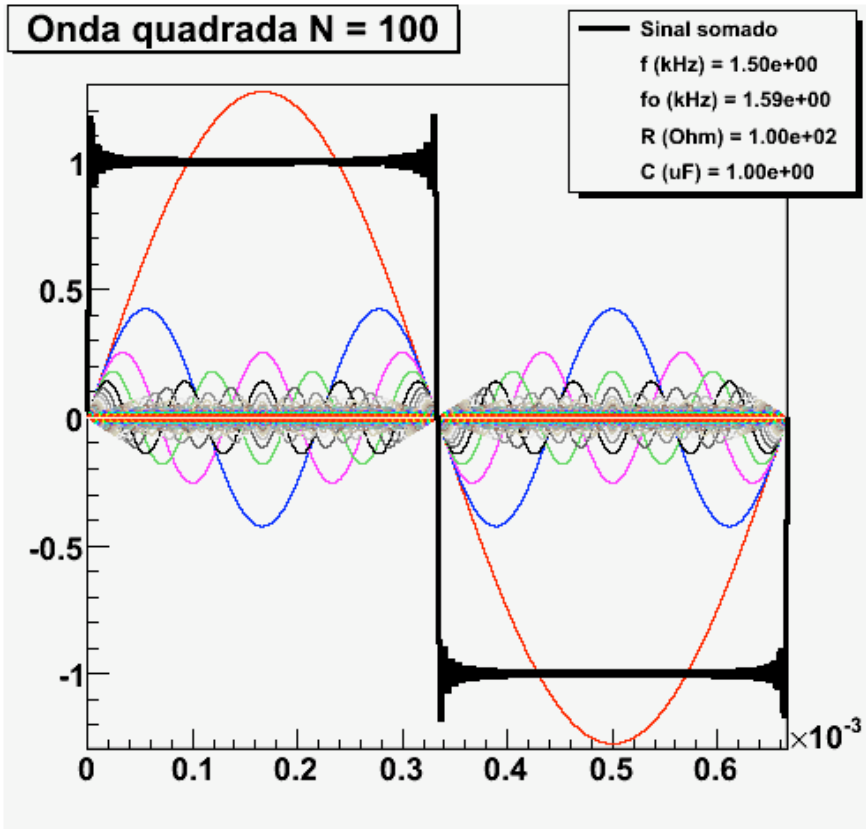
# FILTRO RC ( $R = 1 \Omega$ , $C = 1 \mu\text{F}$ ) $\rightarrow F_c \sim 1.5 \text{ KHZ}$

$$f_{\text{sinal}} = 500 \text{ Hz}$$



# FILTRO RC ( $R = 1 \Omega$ , $C = 1 \mu\text{F}$ ) $\rightarrow F_c \sim 1.5 \text{ KHZ}$

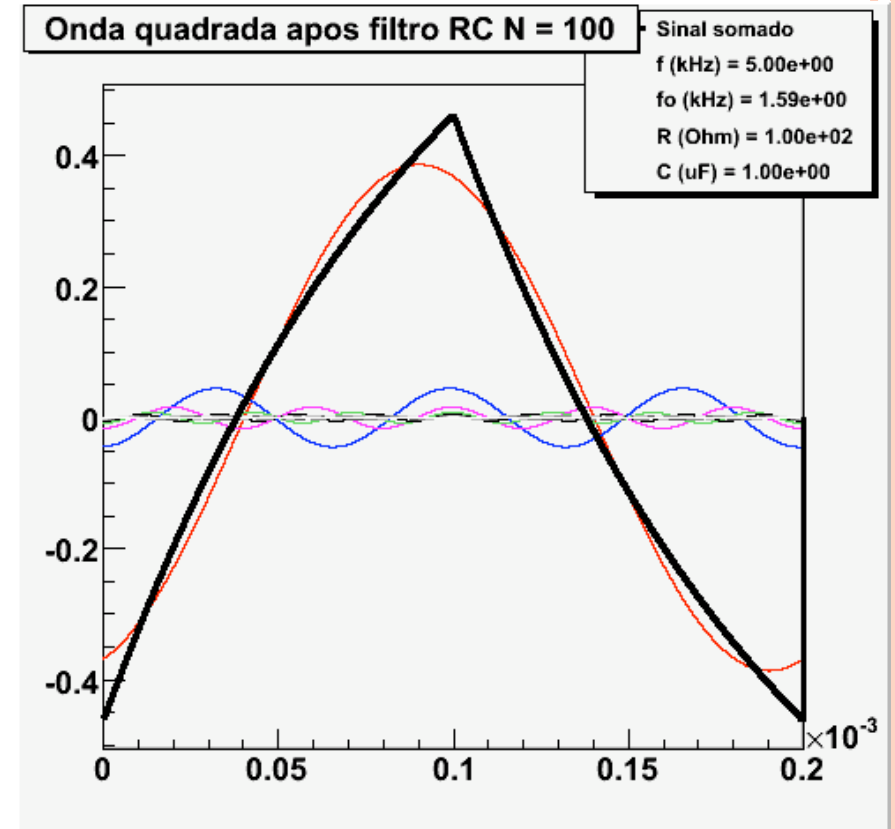
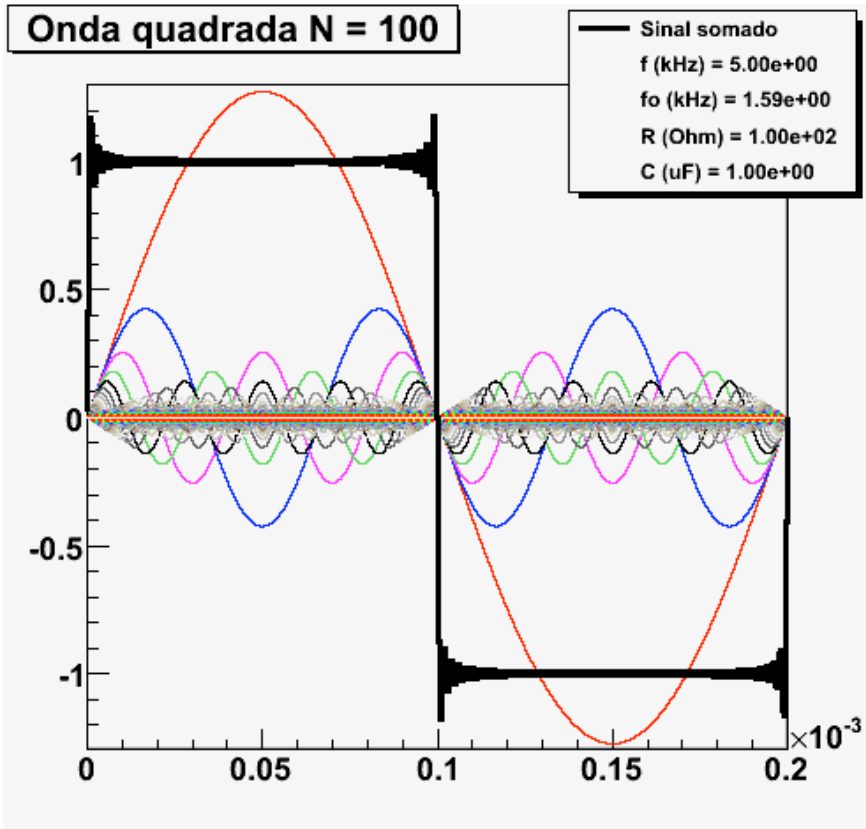
$$f_{\text{sincl}} = 1500 \text{ Hz}$$





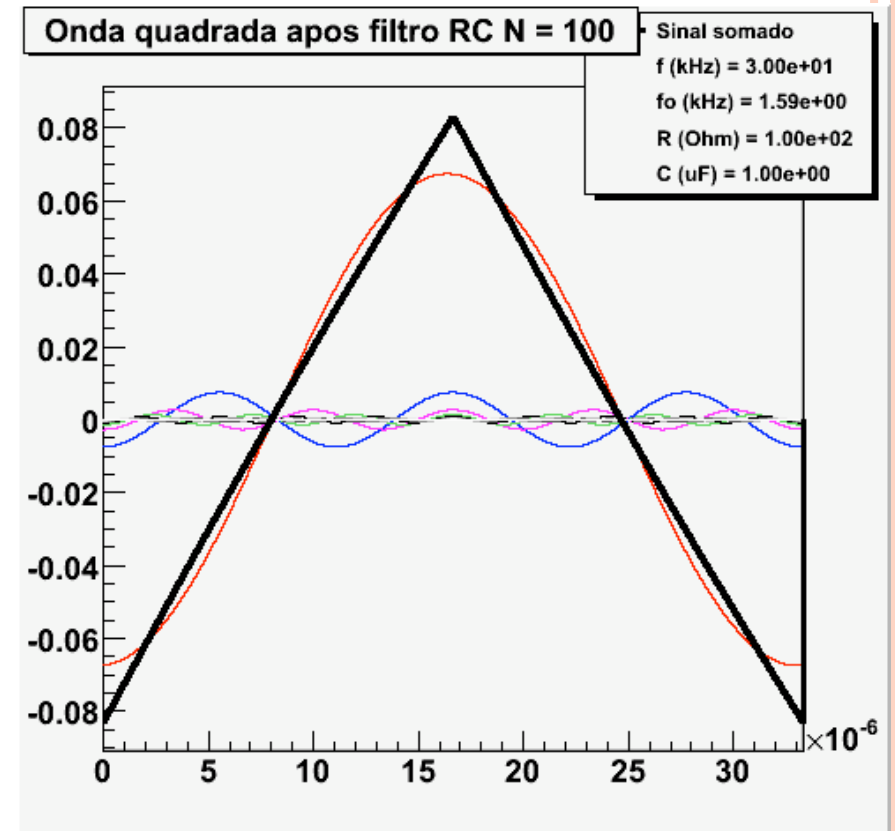
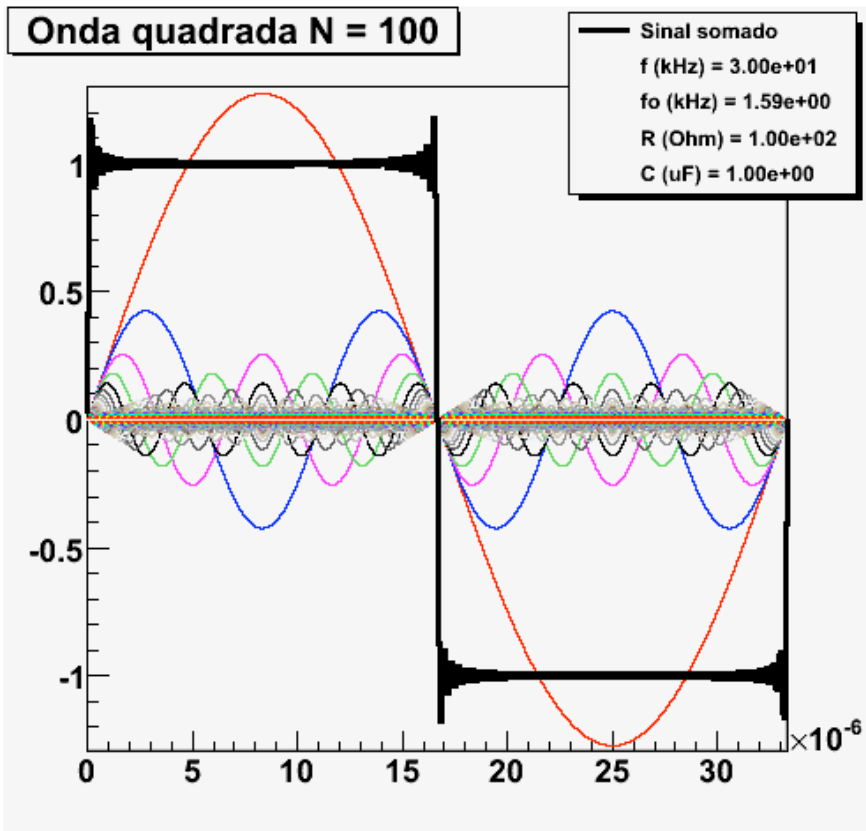
# FILTRO RC ( $R = 1 \Omega$ , $C = 1 \mu\text{F}$ ) $\rightarrow F_c \sim 1.5 \text{ KHZ}$

$$f_{\text{sinal}} = 5 \text{ kHz}$$



# FILTRO RC ( $R = 1 \Omega$ , $C = 1 \mu\text{F}$ ) $\rightarrow F_c \sim 1.5 \text{ KHZ}$

$$f_{\text{sinial}} = 30 \text{ kHz}$$

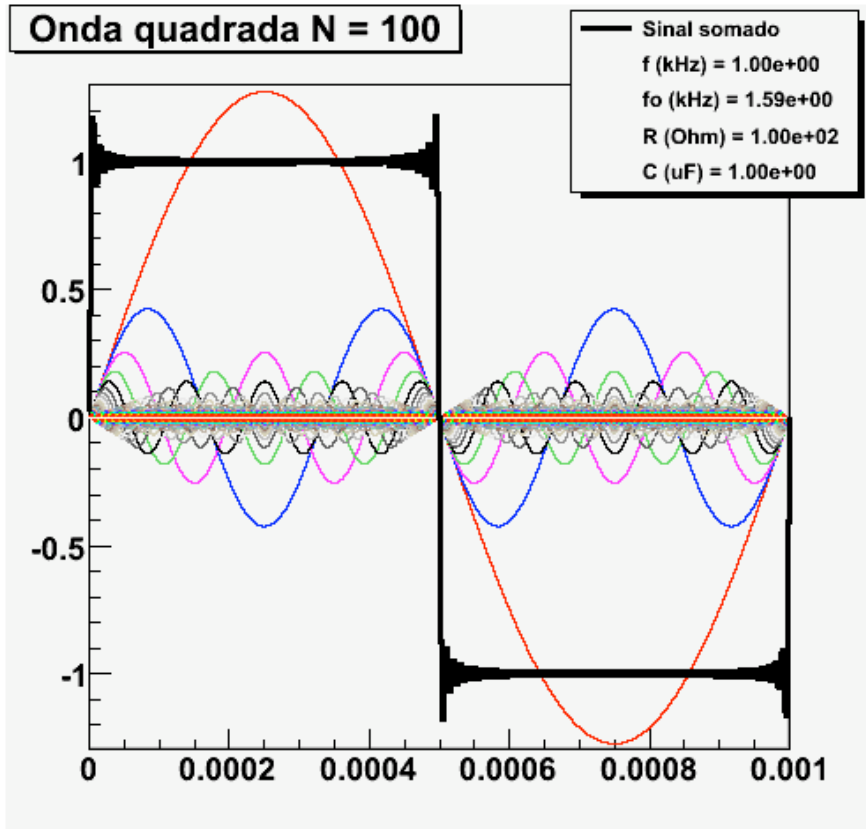


# COMO ANALISAR AS FREQUÊNCIAS DE UM SINAL

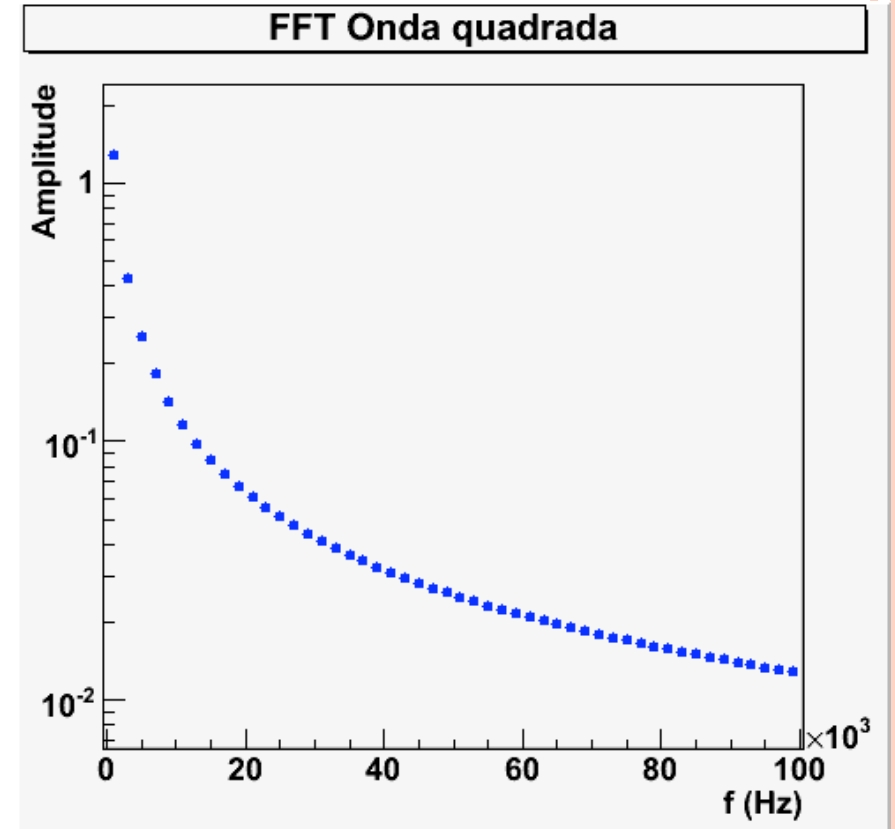
- Análise de Fourier ou transformada de Fourier
  - É um gráfico no qual o eixo-X representa a frequência da componente de Fourier e o eixo-Y mostra a amplitude daquela componente
  - Deste modo pode-se ver claramente qual a contribuição de cada harmônica para o sinal final e podemos projetar os circuitos com o mínimo de interferência
  - Abre inúmeras possibilidades para tratamento de sinais e imagens.
- Métodos numéricos de obtenção para sinais discretos
  - FFT → Fast Fourier Transform

# EXEMPLO: ONDA QUADRADA

SINAL



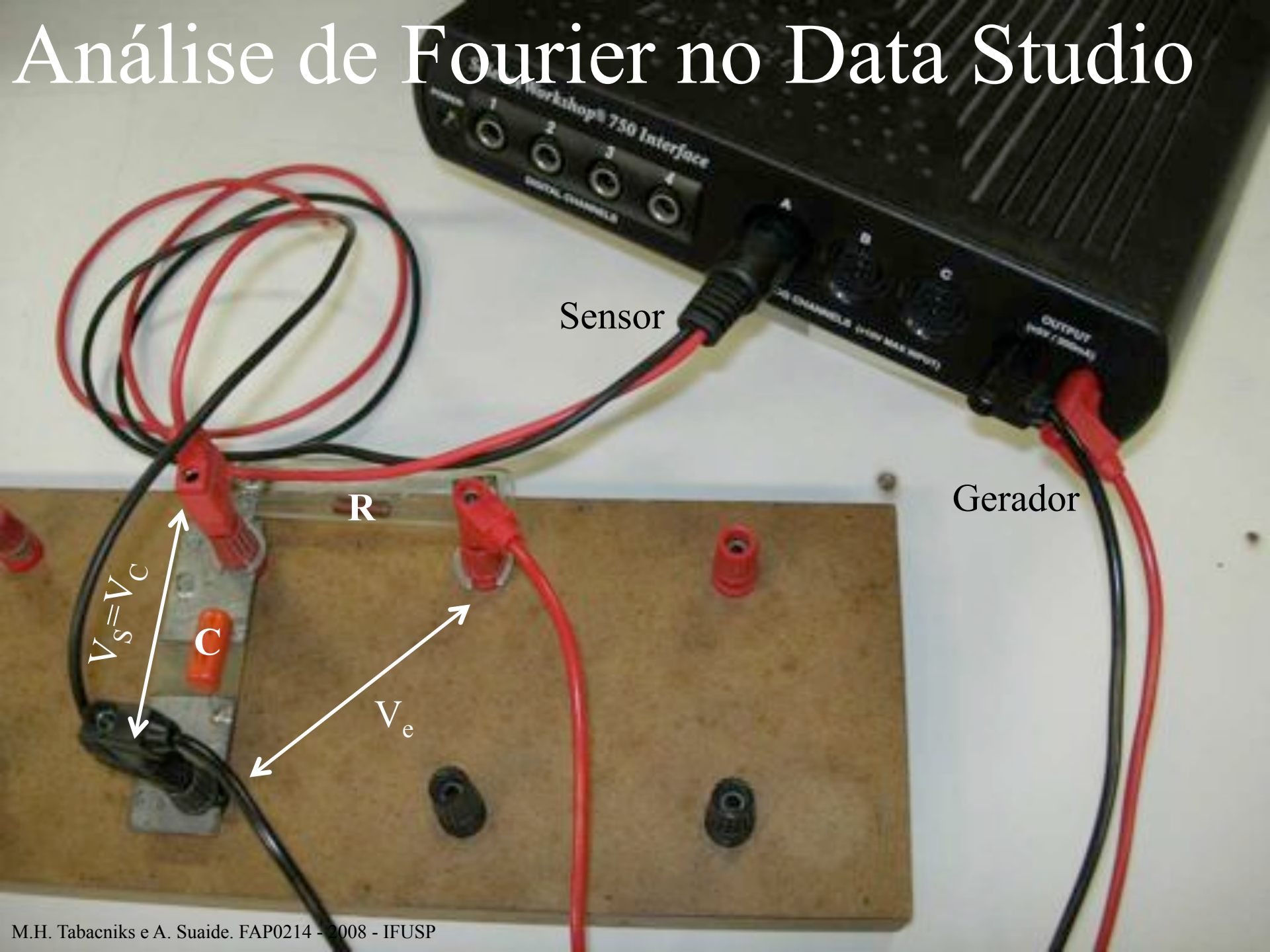
Transformada de Fourier  
Espectro de amplitude



# OBJETIVOS DA SEMANA

- Fazer análise de Fourier experimental de uma onda quadrada
  - Comparar a transformada de Fourier da onda com o esperado teoricamente
  - Obter a curva de ganho de um RC através da transformada de Fourier

# Análise de Fourier no Data Studio



Sensor

Gerador

R

C

$V_s = V_C$

$V_e$

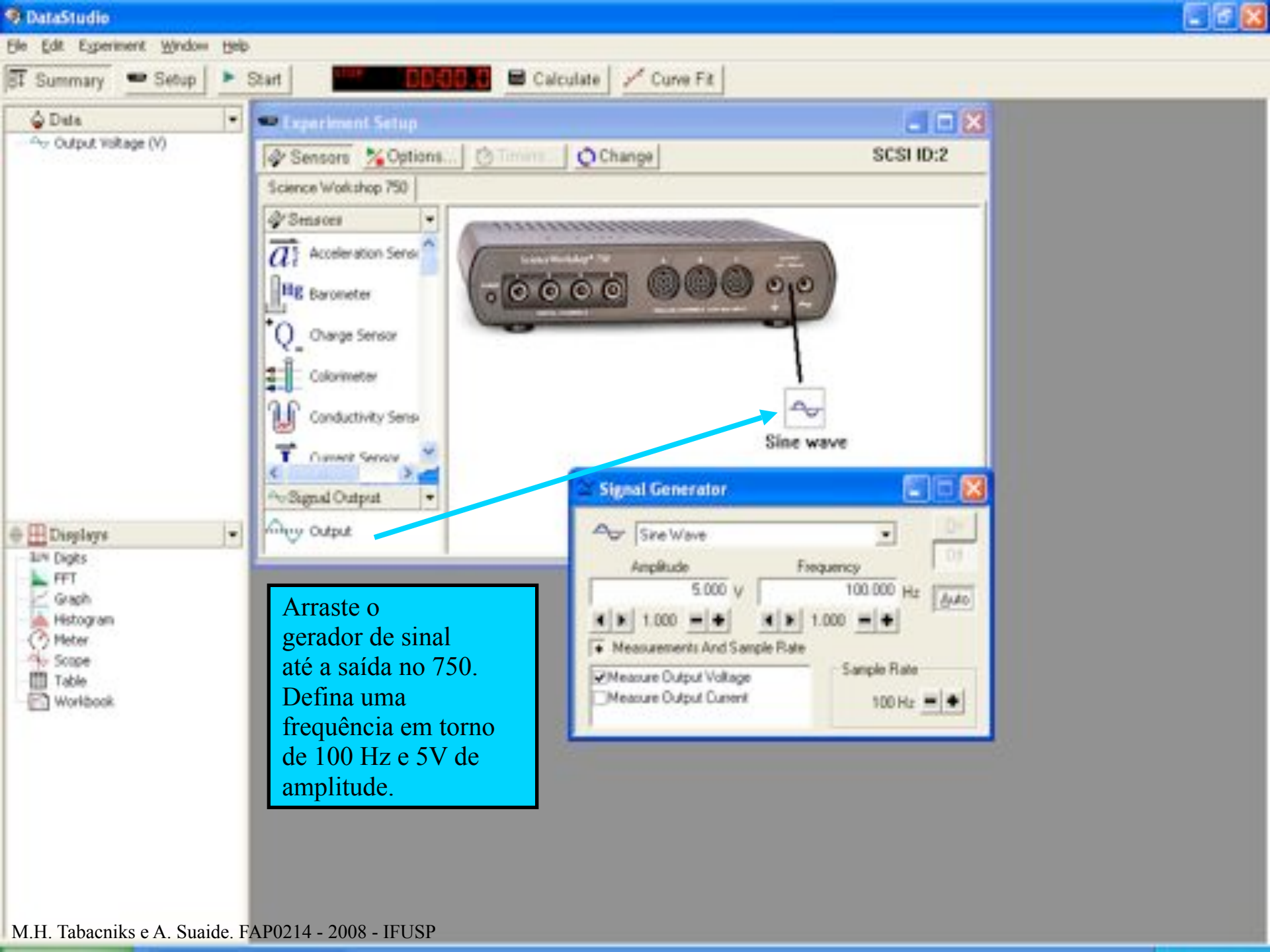


Ligue seu osciloscópio para controlar se a saída do 750 é de fato o que foi selecionado via software.

1) Ligue a interface PASCO 750 na tomada. Veja o LED power on.

2) Conecte um adaptador para pino banana na **entrada** A, B ou C.

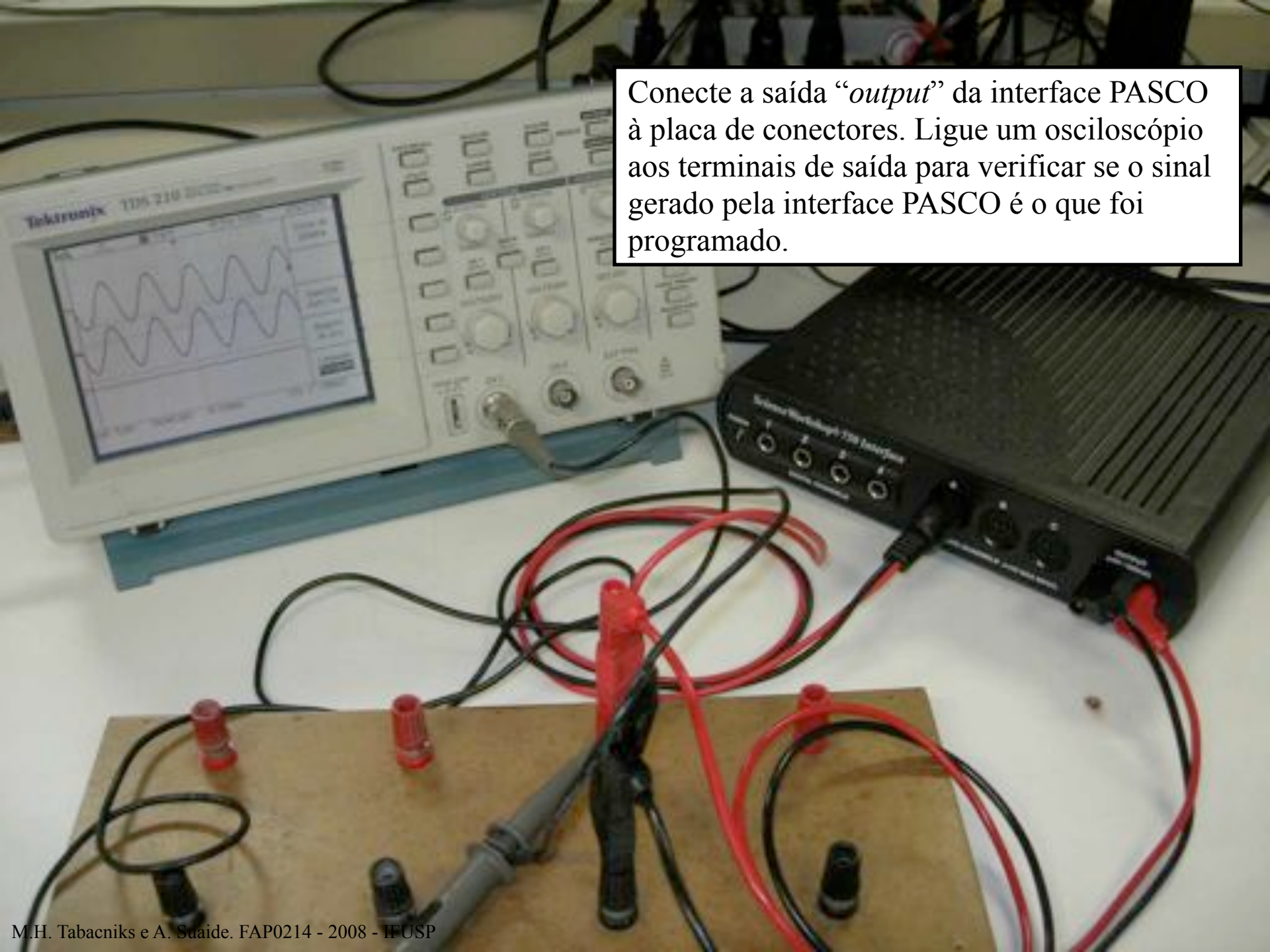
3) Conecte um par de fios com pino banana na saída *output*.



Arraste o gerador de sinal até a saída no 750. Defina uma frequência em torno de 100 Hz e 5V de amplitude.



Conecte a saída “*output*” da interface PASCO à placa de conectores. Ligue um osciloscópio aos terminais de saída para verificar se o sinal gerado pela interface PASCO é o que foi programado.



Arraste um *Voltage Sensor* até a entrada A. Defina suas propriedades (eventualmente com um duplo click)

The screenshot displays the DataStudio software interface. At the top, there are menu options like 'File', 'Edit', 'Experiment', 'Window', and 'Help'. Below the menu is a toolbar with 'Calculate' and 'Curve Fit' buttons. The main workspace shows a hardware device with several ports. A 'Voltage Sensor' icon is being dragged from a sidebar on the left to the 'A' input port of the device. A 'Sine wave' icon is connected to another port. A 'Sensor Properties' dialog box is open, showing the configuration for the 'Voltage Sensor'. The 'General' tab is active, displaying the model 'Q-6503', a 'Sensitivity' dropdown set to 'Low (1e)', and a 'Sample Rate' of '10000 Hz'. The 'Measurement' tab is also visible. To the right, a 'Signal Generator' window is open, showing a 'Sine Wave' configuration with an amplitude of '5.000 V' and a frequency of '100.000 Hz'. The bottom of the screen shows the Windows taskbar with the 'Iniciar' button and several open applications.

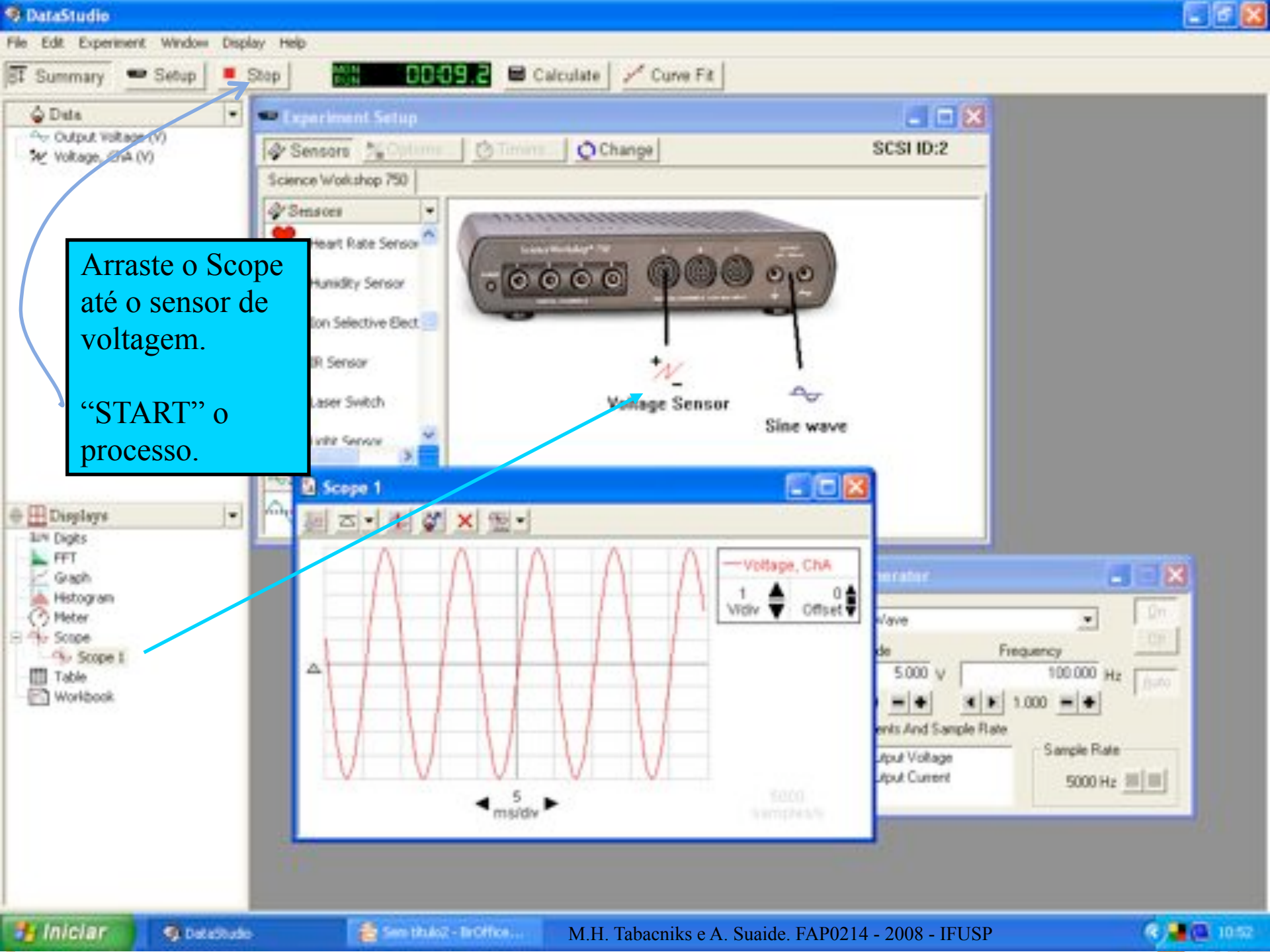
As conexões físicas do 750 foram feitas.

As conexões virtuais do 750 foram feitas. Definindo a saída como um gerador senoidal e a entrada como um sensor de voltagem.

Falta medir: Isto é, definir qual “instrumento de medida” deverá ser ligado ao sensor de voltagem...

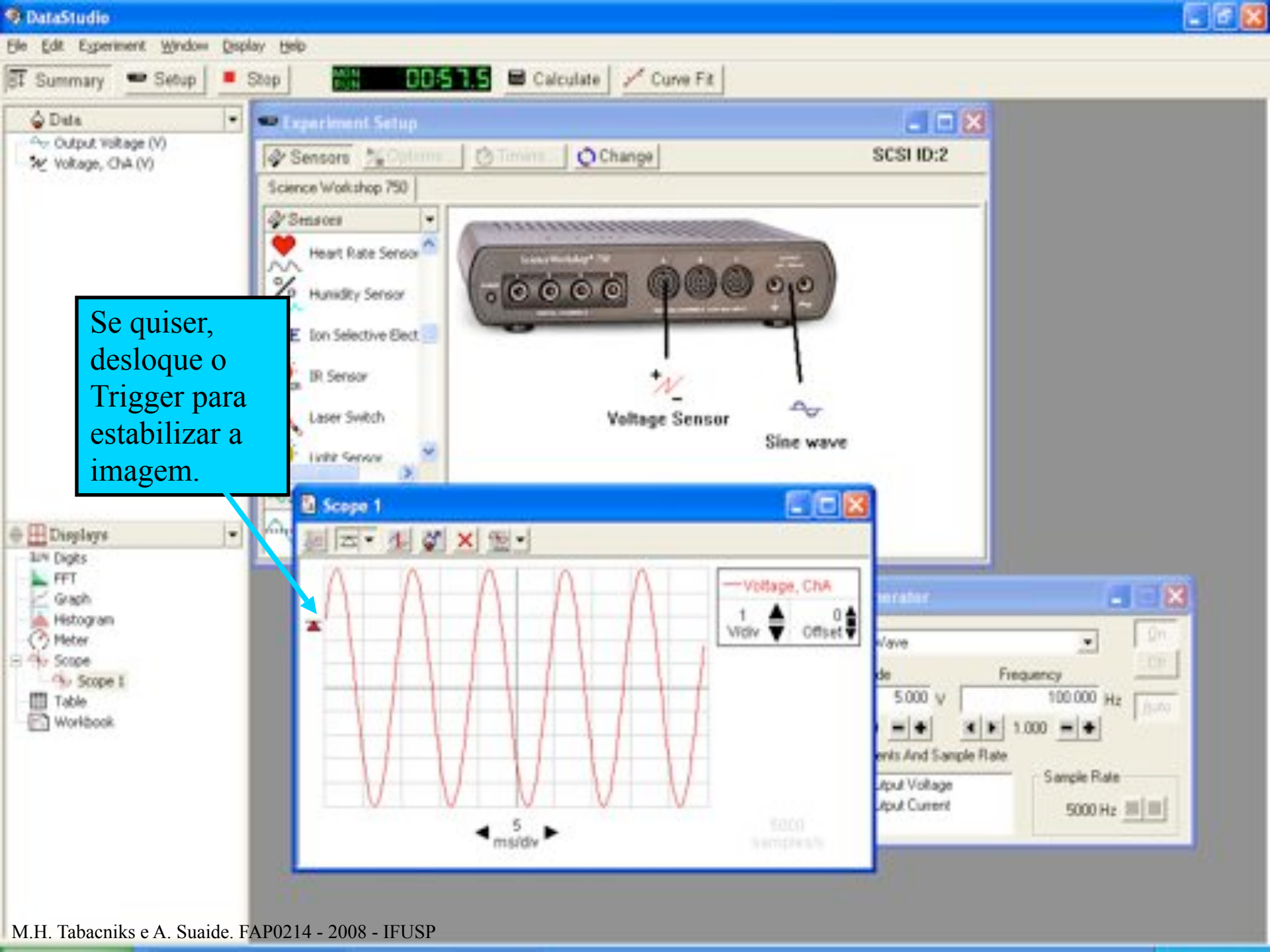




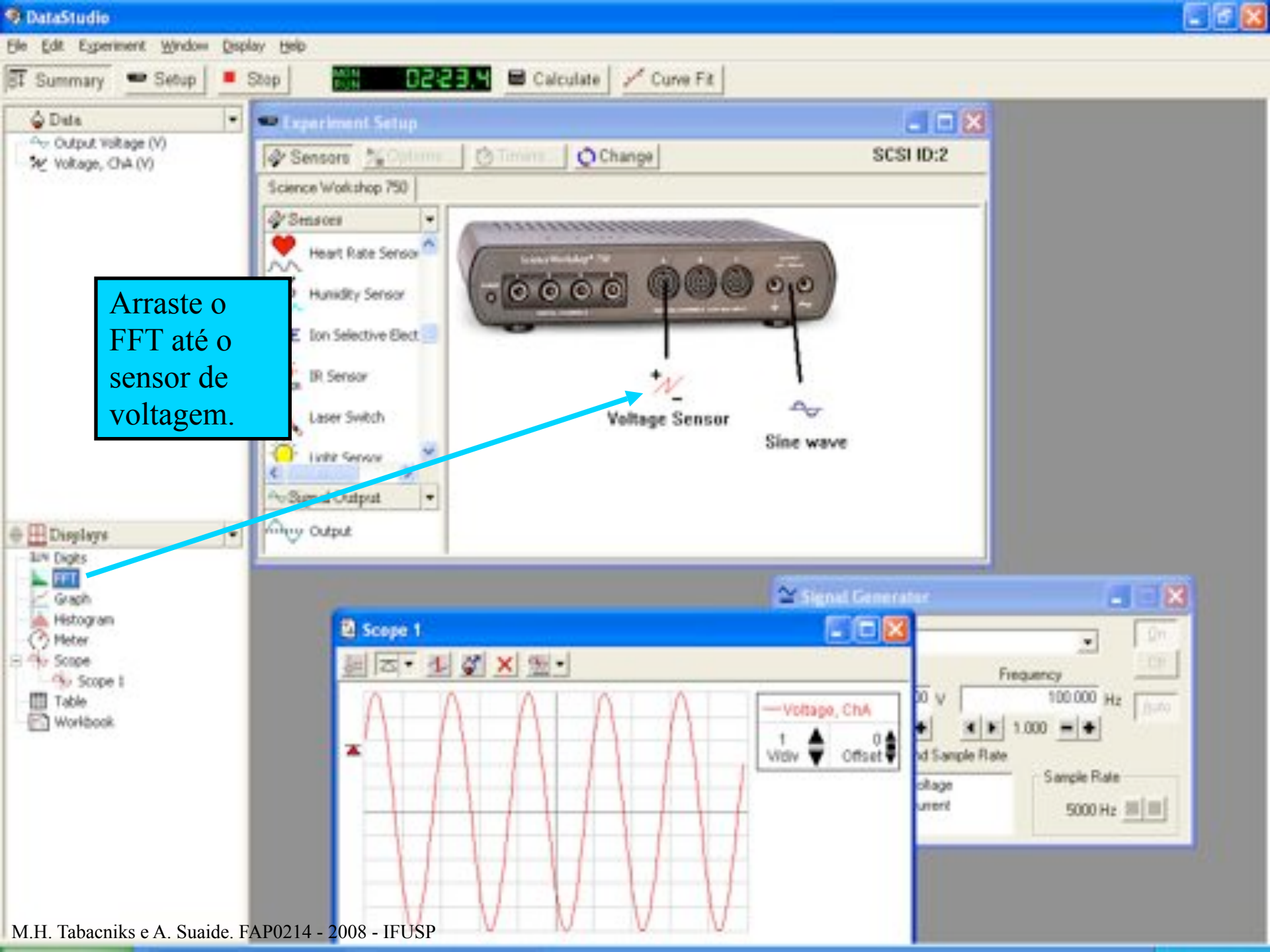


Arraste o Scope até o sensor de voltagem.

“START” o processo.

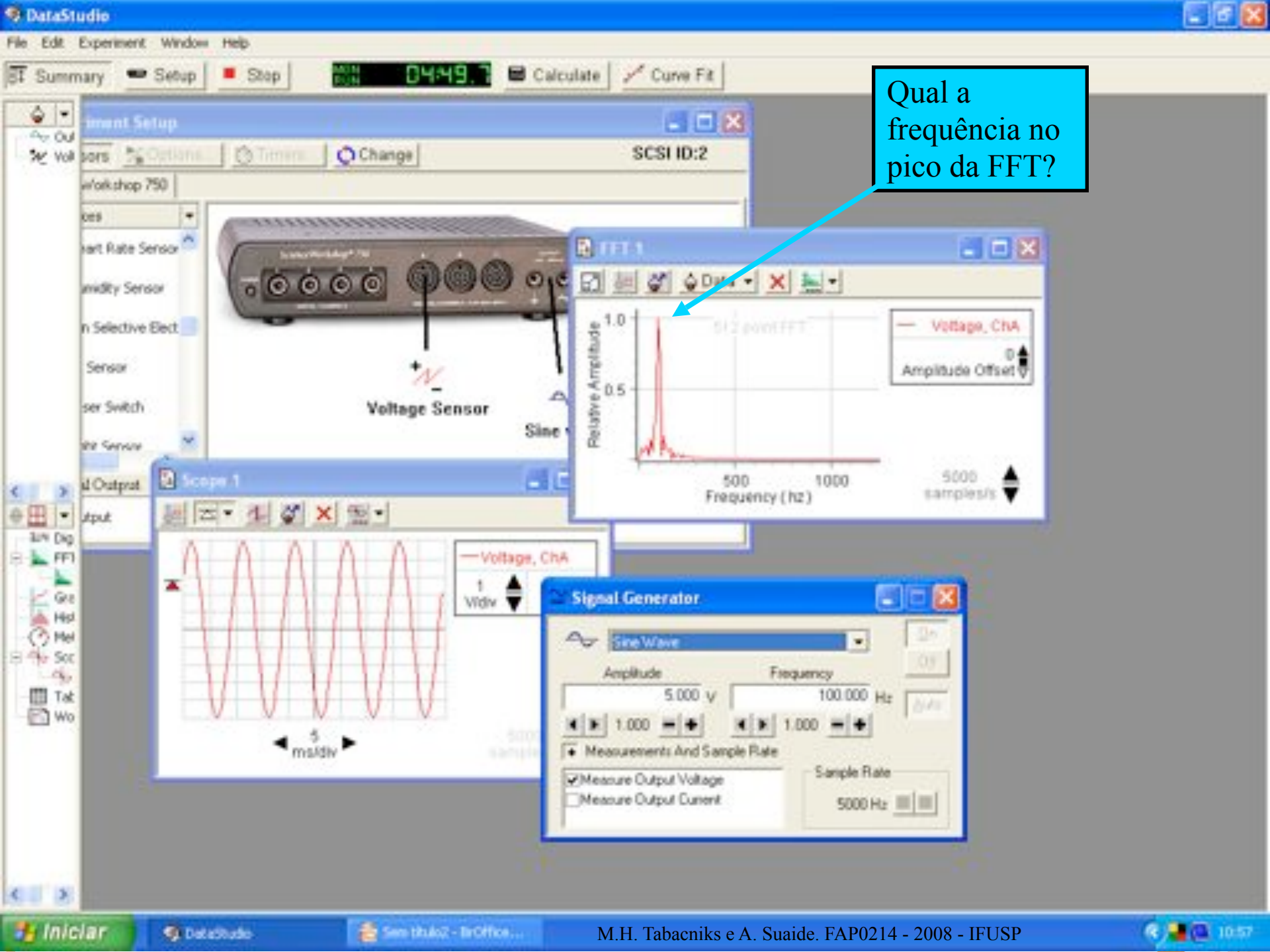


Se quiser, desloque o Trigger para estabilizar a imagem.

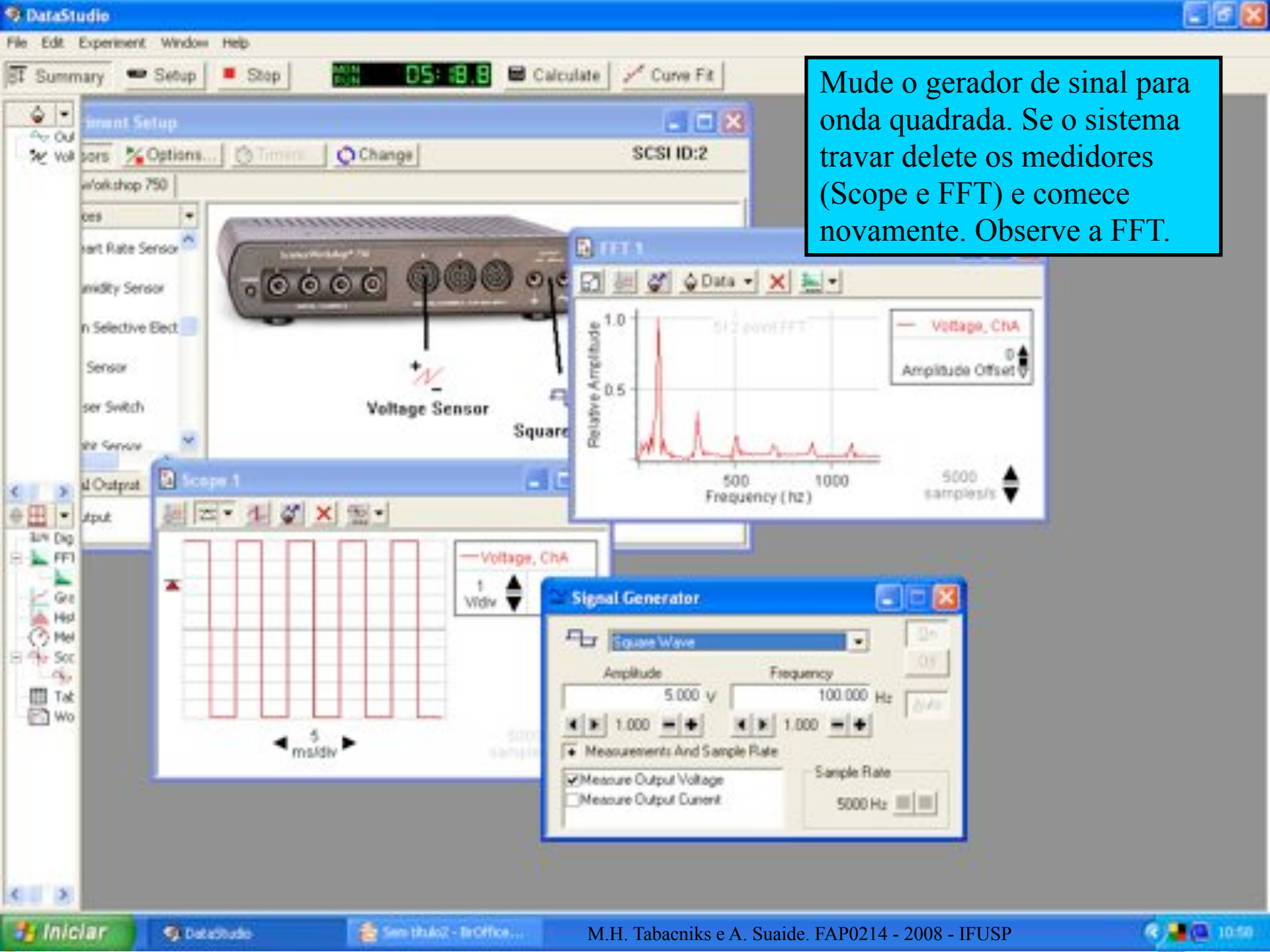


Arraste o FFT até o sensor de voltagem.





Qual a frequência no pico da FFT?



Mude o gerador de sinal para onda quadrada. Se o sistema travar delete os medidores (Scope e FFT) e comece novamente. Observe a FFT.

**Signal Generator**

Waveform: Square Wave

Amplitude: 5.000 V

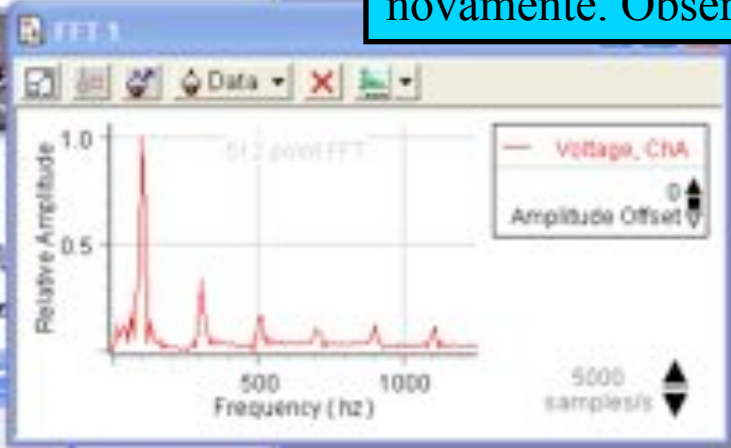
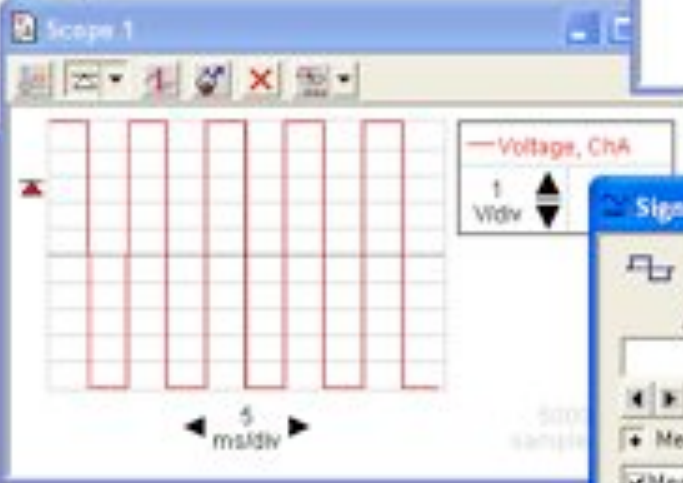
Frequency: 100.000 Hz

Measurements And Sample Rate

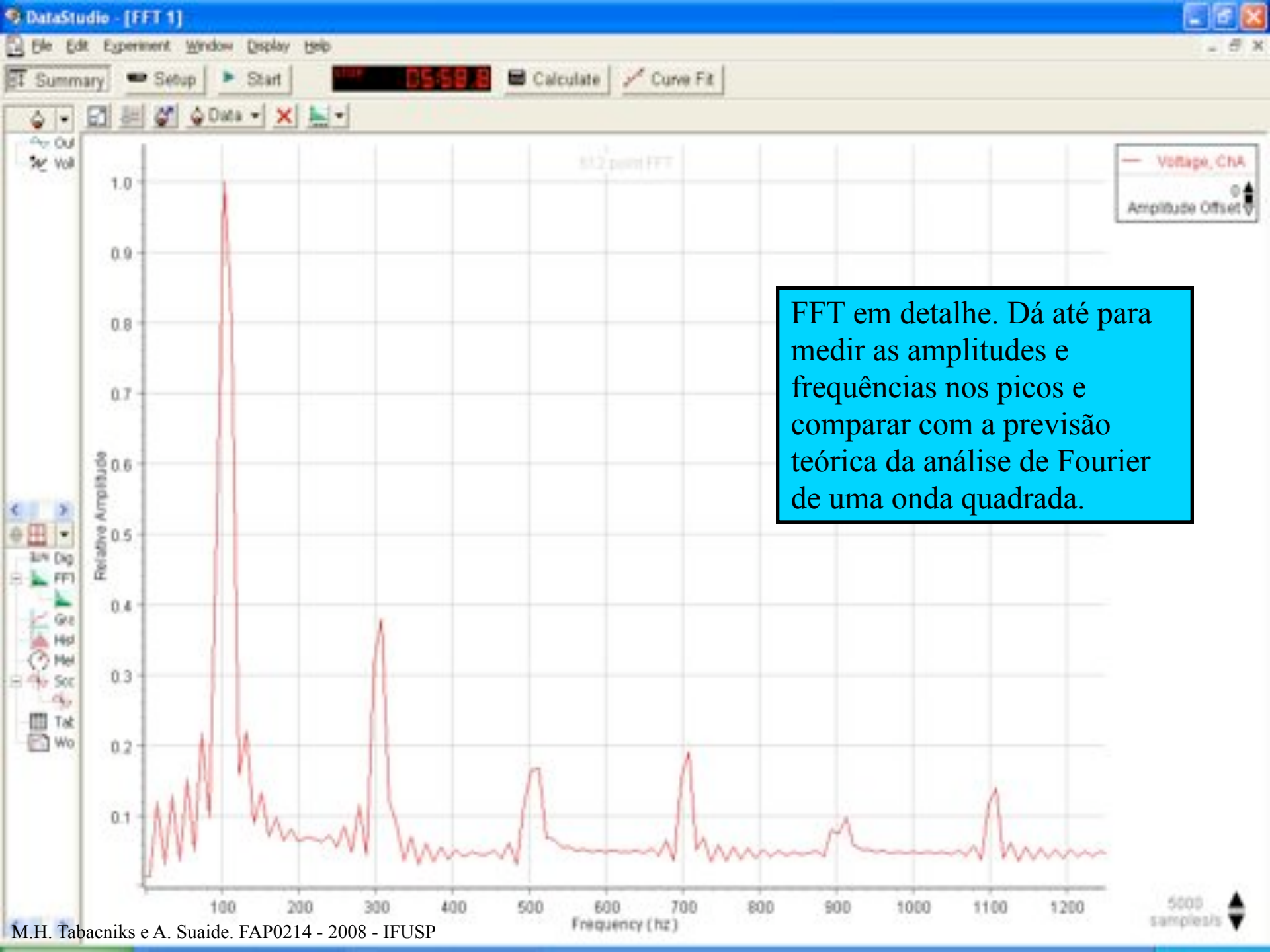
Measure Output Voltage

Measure Output Current

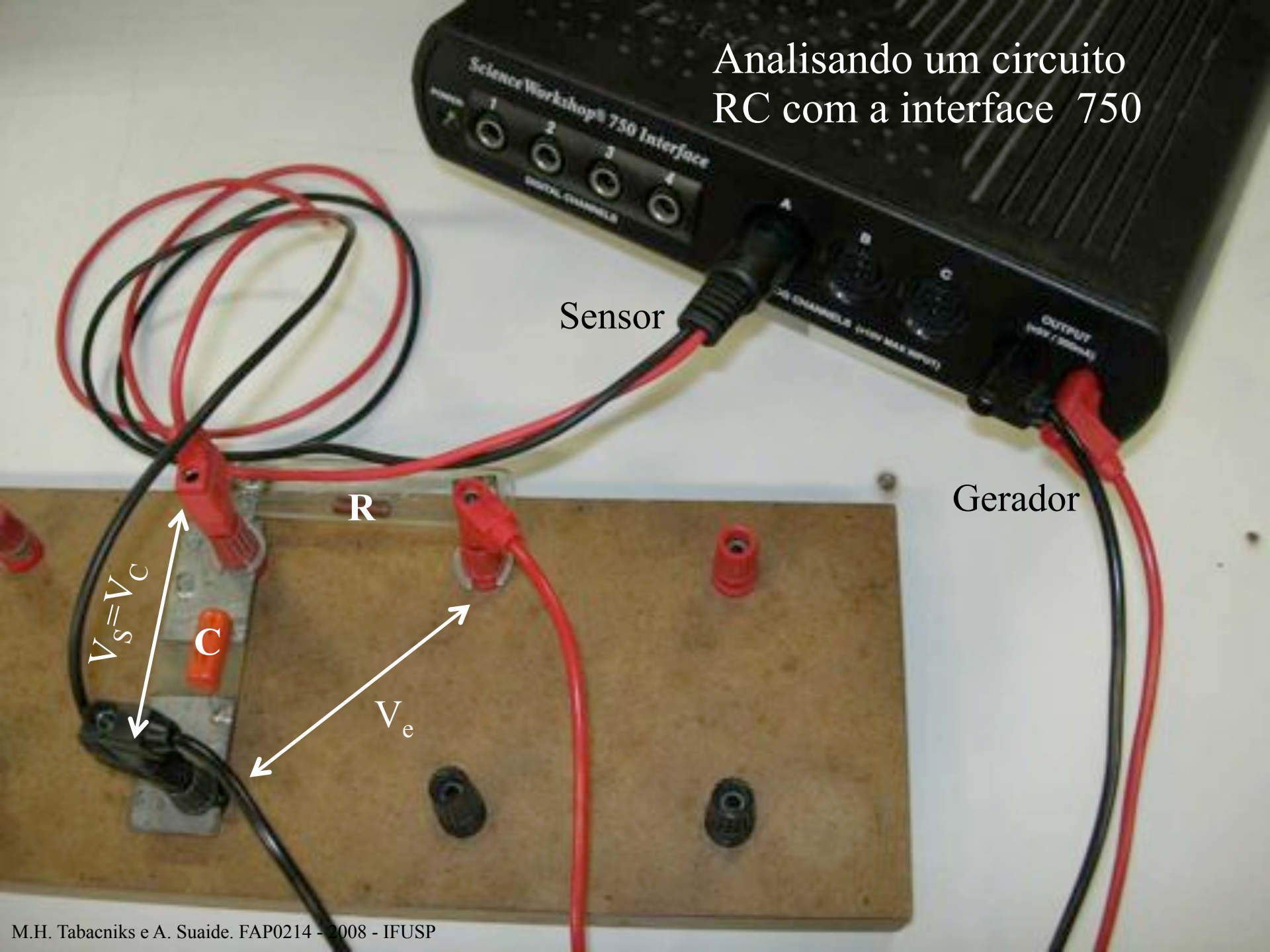
Sample Rate: 5000 Hz







# Analisando um circuito RC com a interface 750



Sensor

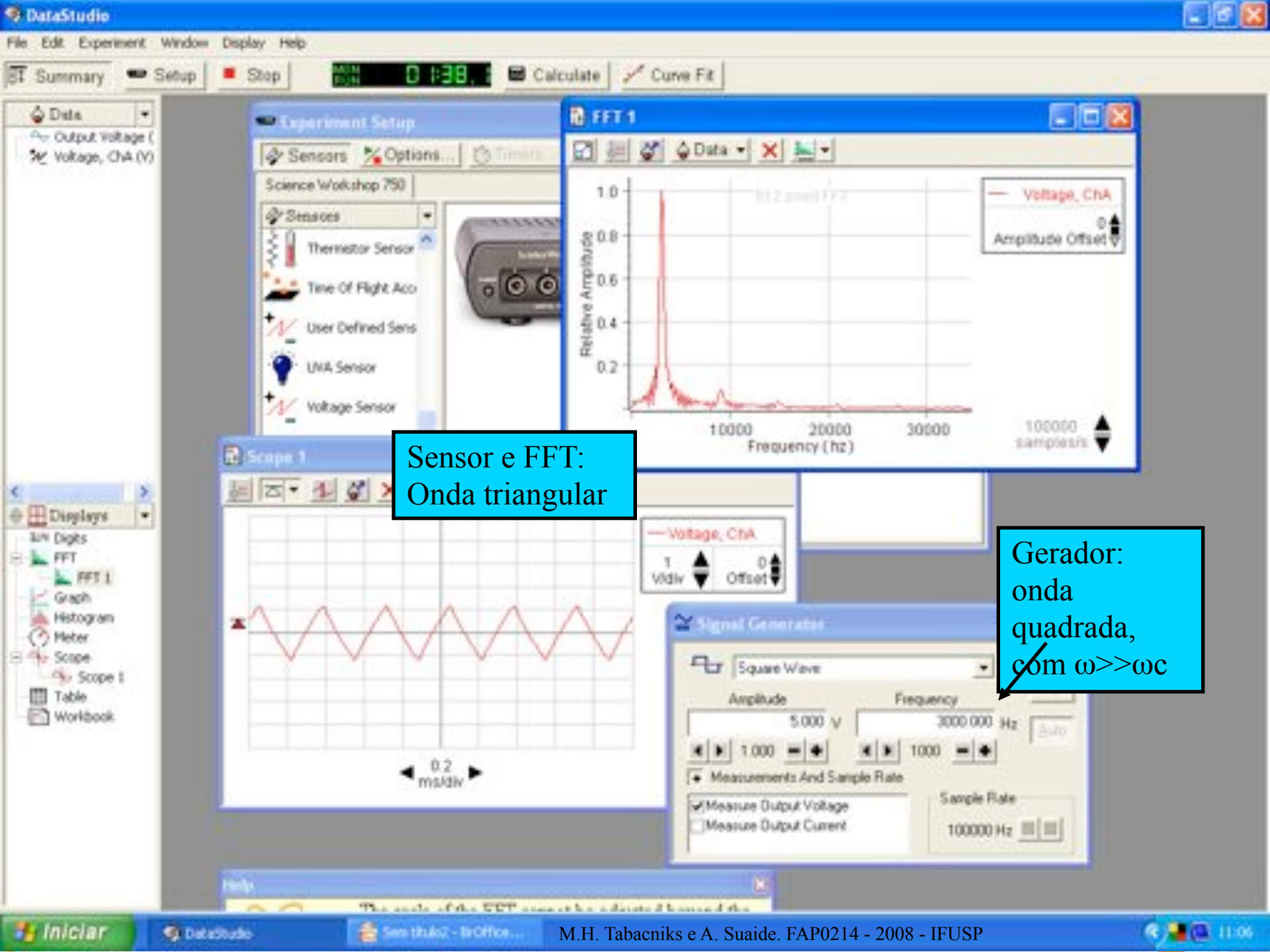
Gerador

R

C

$V_s = V_c$

$V_e$



Sensor e FFT:  
Onda triangular

Gerador:  
onda quadrada,  
com  $\omega \gg \omega_c$

# ATIVIDADES DA SEMANA

- Continuar o que ficou de lado...
- Obter a FFT de uma onda quadrada.
  - Obter as amplitudes das frequências que compõem o sinal e comparar quantitativamente com previsão teórica
    - Gráfico de  $A_f \times f$ .
  - Ao mesmo tempo, obter a FFT do sinal no capacitor
    - Obter as amplitudes das frequências que compõem o sinal
    - Gráfico de  $A_f \times f$ .
- Com as duas FFT (entrada e capacitor) obter a curva de ganho do circuito RC e comparar com previsão teórica
  - DICA: Para uma boa curva, escolha a frequência da onda quadrada como sendo  $\sim 1/3$  de  $f_c$ . Explique porque no relatório.
    - Gráfico de  $G \times f$ , comparando com dados anteriores e teoria.

