

# Física Experimental IV

Notas de aula: [www.fap.if.usp.br/~hbarbosa](http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa)

LabFlex: [www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex](http://www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex)

## Aula 6, Experiência 1

## Circuitos CA e Caos

### Discussão Final

Prof. Henrique Barbosa

[hbarbosa@if.usp.br](mailto:hbarbosa@if.usp.br)

Ramal: 6647

Ed. Basílio Jafet, sala 100

# TAREFAS SEMANA PASSADA



# Para Entregar – RLC – Parte 1

Nesse circuito **RLC** com o indutor de **1mH** (azul)

- Determine a frequência de ressonância desse circuito (não precisa levantar a curva)
- A partir da frequência de ressonância verifique o valor da indutância e compare com o valor nominal
- Obtenha no osciloscópio os retratos de fase para esse circuito na frequência de ressonância
  - **Façam os retratos de fase para  $q \times (di/dt)$**

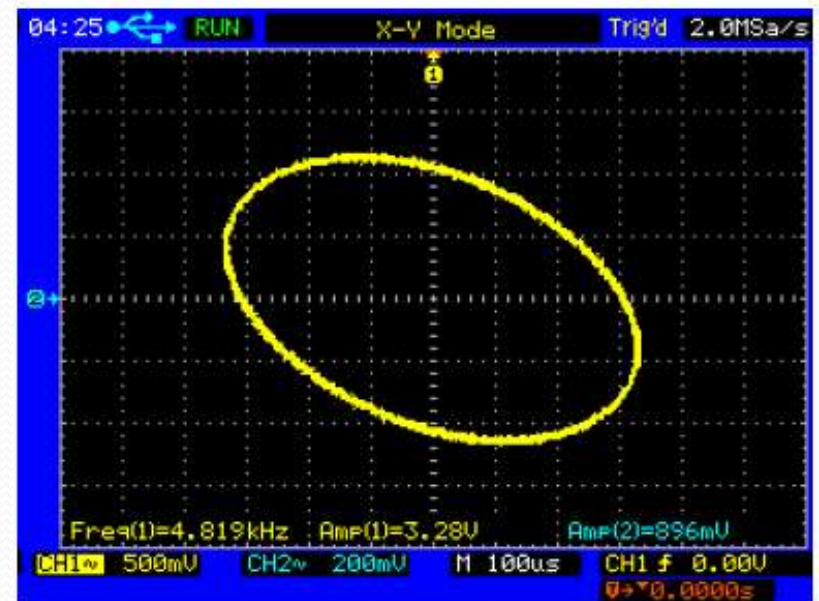
# Retrato de Fase RLC

Também fizemos o retrato de fase para esse circuito na frequência de ressonância, que é o gráfico de  $i \times \frac{di}{dt}$ . Nesse caso o gráfico da voltagem no resistor,  $V_R = Ri$  pela voltagem no indutor,  $V_L = L \frac{di}{dt}$ . Como era esperado a figura formada foi a de uma elipsóide, uma vez que a corrente é senoidal e temos:

$$V_R = Ri_0 \cos(\omega t - \varphi)$$

$$V_L = L\omega i_0 \sin(\omega t - \varphi)$$

Se a diferença de fase entre  $V_R$  e  $V_L$  fosse  $90^\circ$  então daria um elipse orientada ao longo de um dos eixos! Está “torta” porque o **indutor é real**, i.e., é a soma de um indutor ideal e uma resistência... Ou seja,  $\phi < 90^\circ$ .



# Para Entregar – RLD – Parte 2

## Circuito RLD em baixa tensão:

- Comece com a amplitude de pico no gerador menor que **0.5V** e use a saída traseira de baixa impedância.
  - Como funciona o diodo em baixa tensão?
- Achar a frequência de ressonância desse circuito
  - Meça  $V_D$  e  $V_g$  enquanto faz isso... Lembre-se, precisamos de  $V_D < 0.5V$  para que apenas a parte capacitiva do diodo esteja funcionando
- A partir da frequência de ressonância determine o valor da capacitância do diodo,  $C_0$ 
  - A indutância vocês mediram na parte 1, certo?
  - Anote o valor da tensão usada na medida (para a discussão)
- Compare tanto o valor da frequência como o valor da capacitância com os valores correspondentes do circuito **RLC**.

# Resonancia

	$W_{RLC}$ (krad/s)	L (mH)	$W_{diodo}$ (krad/s)	$V_D$ (mV)	$C_0$ ( $10^{-12}$ F)
H01	19,499 (12)	1,11 (3)	2237 (24)	184	181 (20)
H02	30,2 (3)	1,10 (3)	3180 (50)	10 (2)	90 (3)
H03	30,8 (6)	1,065 (34)	2343 (18)	472 (20)	170 (14)
H04	2,981 (3)	1,121 (28)	227,6 (6)		17,2 (4)
H05	25,975 (4)	1,417 (71)	2199 (31)	Vg=250	0,1459 (84)
H06	29,77 (7)	1,11 (6)	2977 (31)	416 (20)	100 (600)
H07	30,134	1,1	2922		105
H08	25,273		2197		138000000
H09		0,9659 (1)			
H10	30,210 (60)	1,05 (3)	2110 (30)	500 (4)	213 (9)
H11	29,7 (15)	1,15 (6)	2992 (13)		96,9 (69)

$$\begin{cases} C = 1\mu F \\ L = 1mH \end{cases} \Rightarrow \omega_0 = 31.5krad/s \text{ e } f_0 = 5.03kHz$$

# Modelo de Diodo Real

- Note que a capacitância depende da tensão aplicada:

$$C(V_D) = C_0 \exp\left[\frac{eV_D}{kT}\right], \text{ para } V_D > 0$$

$$C(V_D) = \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{eV_D}{kT}}}, \text{ para } V_D \leq 0$$

- Para tensões muito pequenas:

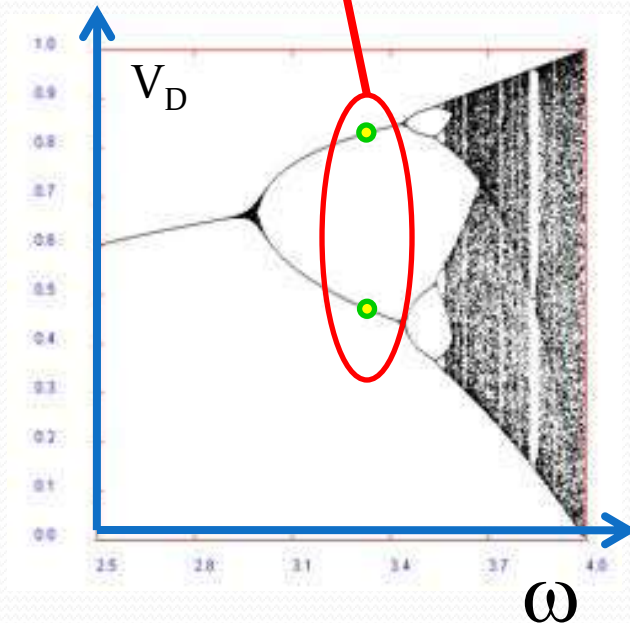
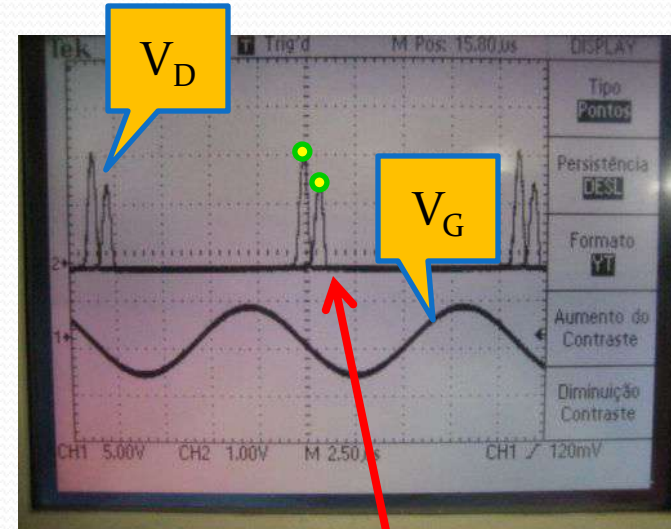
$$\frac{eV_D}{kT} \ll 1 \Rightarrow C(V_D) \rightarrow C_0$$

VD (mV)	eVd/kT 300K	exp()
400	15.5	5172864
100	3.86	47
50	1.93	6.9
10	0.386	1.5

# Para Entregar – RLD – Parte 3

## Circuito RLD em alta tensão

- Aumentar a tensão no gerador para o máximo (algo em torno de 4-5V)
  - O que acontece com o diodo?
- Construir o diagrama de bifurcação
  - Meça com o osciloscópio a tensão no gerador,  $V_G$ , e a tensão no diodo,  $V_D$ . Comece com 40kHz e vá subindo
  - A amplitude dos picos de tensão  $V_D$  deve ser medida com o cursor. Meça vários pontos, principalmente próximo das bifurcações
  - Determinar o número de Feigenbaum
  - Quantas janelas de caos consegue determinar?
  - Meça até quando for possível (3 bif. mínimo)





# Diagrama de bifurcação

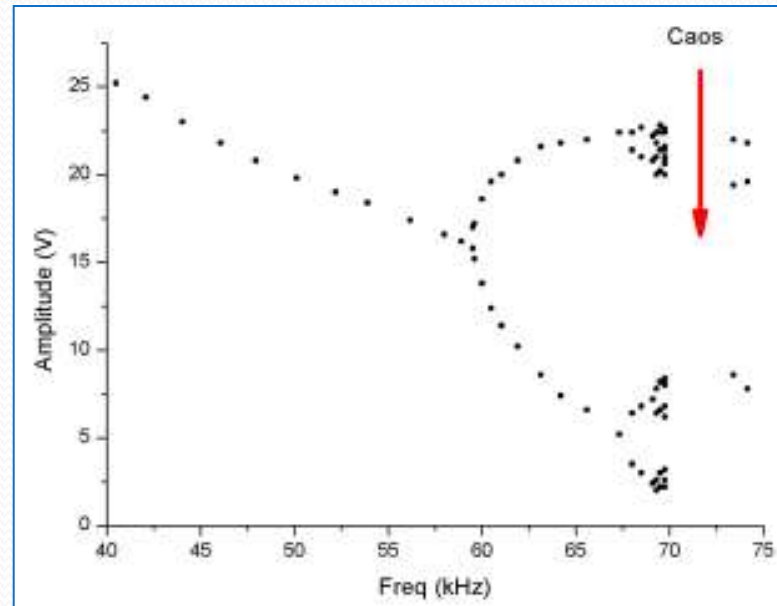
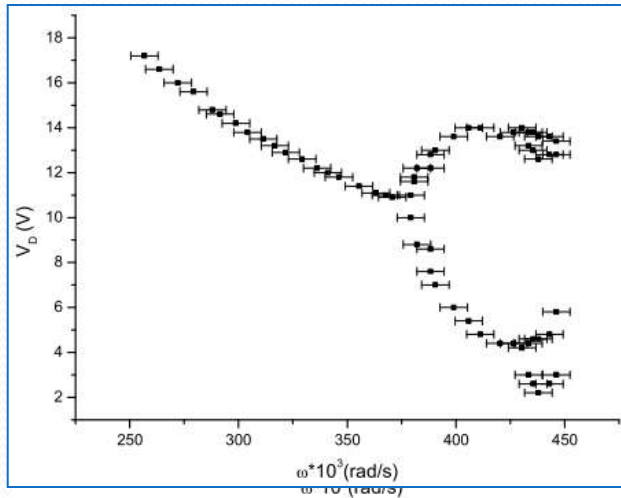
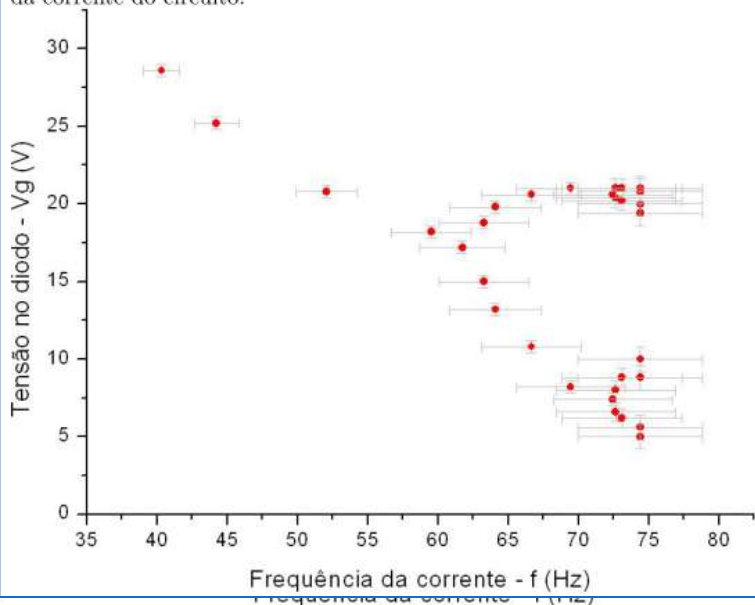


Figura 7: Diagrama de bifurcação da tensão no diodo versus a frequência da corrente do circuito.



# Feigenbaum

	$\delta$	
H01	4,0 (9)	
H02	4,6 (8)	4,5 (15)
H03	5,03 (13)	
H04	4,7 (5)	
H05		
H06	5,2 (2,7)	
H07	4,33 (13)	
H08		
H09		
H10	4,5 (5)	
H11		

# Para Entregar – RLD – Parte 4

- O retrato de fase é o gráfico de  $q \times di/dt$ 
  - Que modo do osciloscópio de ser usado?  $X-t$  ou  $X-Y$  ?
- Fazer o retrato de fase do circuito **RLD** para algumas frequências interessantes:
  - Quando não há bifurcação (**1** atrator para  $V_D$  do diodo)
  - Para **1** bifurcação (**2** atratores para  $V_D$  do diodo)
  - Para **2** bifurcações (**4** atratores para  $V_D$  do diodo)
  - Quando o circuito está em regime caótico
- Os retratos de fase são “fotos” da tela do osciloscópio
  - Devem ser mostrados, discutidos e comparados com o retrato de fase do circuito **RLC**.
- Para o caso de 2 atratores, faça também o gráfico em 3D ( $I \times di/dt \times \text{tempo}$ ) e comente

# Retratos de Fase

