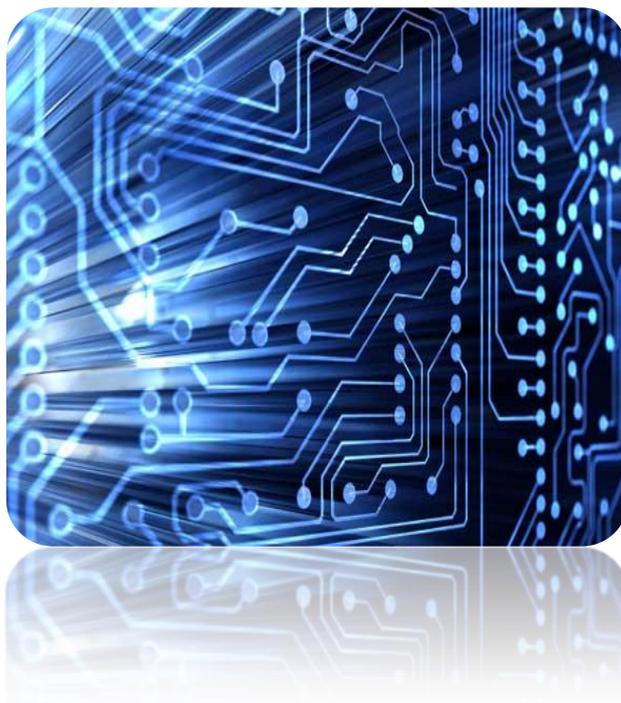


# Relatório de Projecto Temático em Circuitos Eléctricos



## **Grupo 4**

Hugo Pinheiro	nº 50776
Marco Marques	nº 49889
Nuno Almeida	nº 50126
Nuno Baioneta	nº 50250
Paulo Silva	nº 49753
Sérgio Pereira	nº 49268

**Orientador:**

Eng.º Valter Silva

Ano lectivo 2010/ 2011



# Relatório de Projecto Temático em Circuitos Eléctricos

Orientador: **Eng.º Valter Silva**

Ano Lectivo 2010/ 2011

## **Grupo 4**

Hugo Pinheiro	nº 50776	_____
Marco Marques	nº 49889	_____
Nuno Almeida	nº 50126	_____
Nuno Baioneta	nº 50250	_____
Paulo Silva	nº 49753	_____
Sérgio Pereira	nº 49268	_____

## Índice

Introdução .....	3
Planeamento .....	3
Descrição do problema .....	5
<b>Trabalho I</b>	
Ponto I .....	6
Funcionamento dos aparelhos de medida.....	6
Osciloscópio .....	6
Fonte de tensão.....	7
Gerador de sinais.....	8
Multímetro .....	9
Placa Branca .....	10
Medições de resistências .....	11
Ponto II .....	15
Implementação do circuito .....	15
Leis de Kirchhoff.....	18
Balanço de Potências .....	20
Discussão.....	21
Conclusão – Trabalho I .....	22
<b>Trabalho II</b>	
Descrição do problema .....	24
Conceitos teóricos.....	25
Condensador .....	25
Propriedades de uma onda sinusoidal.....	26
Transformador isolador.....	27
Implementação do circuito .....	28
Análise teórica.....	28
Análise no simulador .....	30
Análise prática .....	31
Cálculo dos desfasamentos .....	31
Cálculo das correntes .....	34
Diagramas fasoriais .....	35
Equivalente de <i>Thévenin</i> .....	37

Utilização de uma só fonte.....	43
Conclusão – Trabalho II .....	44
<b>Trabalho III</b>	
Descrição do problema .....	46
Circuito integrador .....	47
Diagrama de Bode .....	48
Filtro passa baixo e frequência de corte .....	54
Constante de tempo do circuito .....	58
Variação das componentes .....	60
Análise da corrente no circuito RC.....	65
Componente DC de um circuito .....	66
Conclusão – Trabalho III .....	67
Conclusão final .....	68
Anexos.....	70

## Introdução

No segundo semestre do primeiro ano da licenciatura em Engenharia Electrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda é realizado o projecto temático em Circuitos Eléctricos.

O projecto divide-se em três partes de trabalho, cada uma a ser realizada nos três períodos do semestre. Baseia-se na pesquisa, planeamento, manuseamento e experiências em circuitos eléctricos.

No primeiro período foi elaborado um estudo sobre o funcionamento dos aparelhos do laboratório, foi verificada a lei de *Ohm* através da medição de resistências e implementado um circuito de modo a verificar as leis de *Kirchhoff*.

No segundo período estudou-se o regime sinusoidal estacionário bem como o comportamento de um novo componente, o condensador.

Para a realização do trabalho do terceiro período foi necessário projectar um circuito de modo a estudar o comportamento de um integrador.

## Planeamento

Para todos os trabalhos foi realizado um mapa de *Gantt* de modo a definir as tarefas a serem realizadas. Esta ferramenta tem como objectivo organizar o trabalho e rentabilizar o tempo.

Os mapas de *Gantt* para o primeiro, segundo e terceiro períodos podem ser consultados, respectivamente nos Anexos 4, 5 e 6.

# Trabalho I

- Leis de *Kirchhoff* -

## Descrição do problema

O primeiro ponto do primeiro trabalho a ser realizado consiste em fazer um estudo do manuseamento e funcionamento do equipamento utilizado no laboratório de electrónica, nomeadamente, osciloscópio, fonte de tensão, gerador de sinais, multímetro e placa branca.

No segundo ponto a ser efectuado pretende-se medir o valor de 20 resistências de carvão (10 de  $\frac{1}{4}$  W e 10 de  $\frac{1}{2}$  W) com o multímetro, comparar o seu valor por visualização das cores e comprovar a sua indicação de tolerância. Os valores obtidos devem ser usados para efectuar medidas de tensão e corrente e comprovar a lei de Ohm com uma das resistências.

No último ponto do trabalho pretende-se implementar um circuito dado no enunciado (ver *Anexo 1*) de modo a verificar as leis de *Kirchhoff* e o balanço de potências.

Para a realização dos três pontos do trabalho é necessário efectuar os respectivos cálculos, implementar os circuitos modelo em *software (Circuit Maker)* e montar os circuitos em placa branca.

## Ponto I

### Funcionamento dos aparelhos de medida

#### Osciloscópio

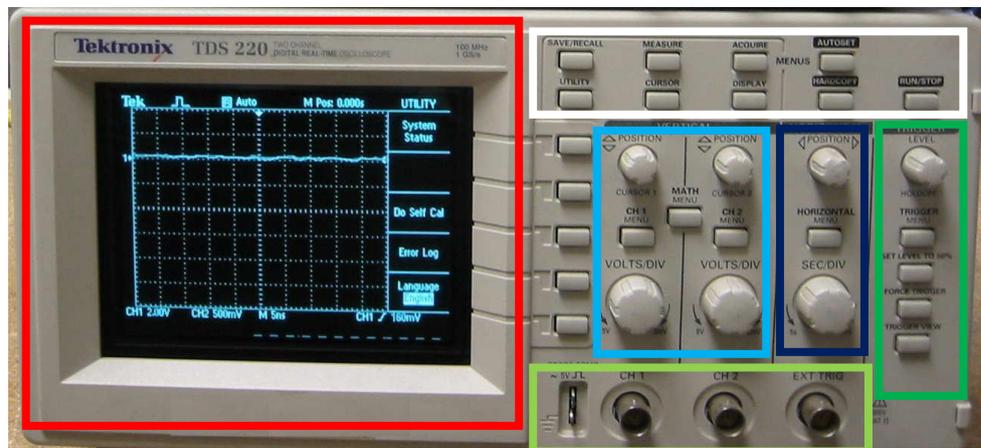
O osciloscópio é um aparelho electrónico que permite visualizar e analisar sinais na forma de um gráfico de tensão em função do tempo.

Em seguida é apresentado um exemplo de como utilizar o osciloscópio.

Liga-se um gerador de sinais ao osciloscópio, através de uma ponta de prova. De seguida, escolhe-se a frequência e a amplitude emitida pelo gerador de sinais e escolhe-se também o tipo de onda. Depois disto, ajusta-se o ecrã do osciloscópio, utilizando-se os selectores para tal efeito. Para se poder estudar a onda, é necessário percorre-la. Como tal, utiliza-se os cursores para a percorrer.

Para uma melhor e mais estável imagem da onda, é necessário que a curva comece sempre no mesmo ponto, parecendo quase imóvel. Para isso é essencial a função de *trigger*.

De seguida é apresentada uma imagem, com a respectiva legenda do osciloscópio.



- Display
- Controlos verticais
- Controlos horizontais
- Controlos de *trigger*
- Menus e botões de controlo
- Conectores

Figura 1 - Osciloscópio presente no laboratório e respectiva legenda

## Fonte de tensão

A fonte de tensão é um instrumento essencial ao funcionamento de um qualquer circuito eléctrico, aplicando sobre o mesmo uma tensão definida pelo utilizador. Poderá denominar-se como fonte de tensão, instrumentos tal como pilhas, painéis solares e geradores de sinais. Na figura a seguir apresentada, pode-se ver uma fonte de tensão.

Abaixo está apresentada uma imagem de uma fonte de tensão, seguida da sua legenda.

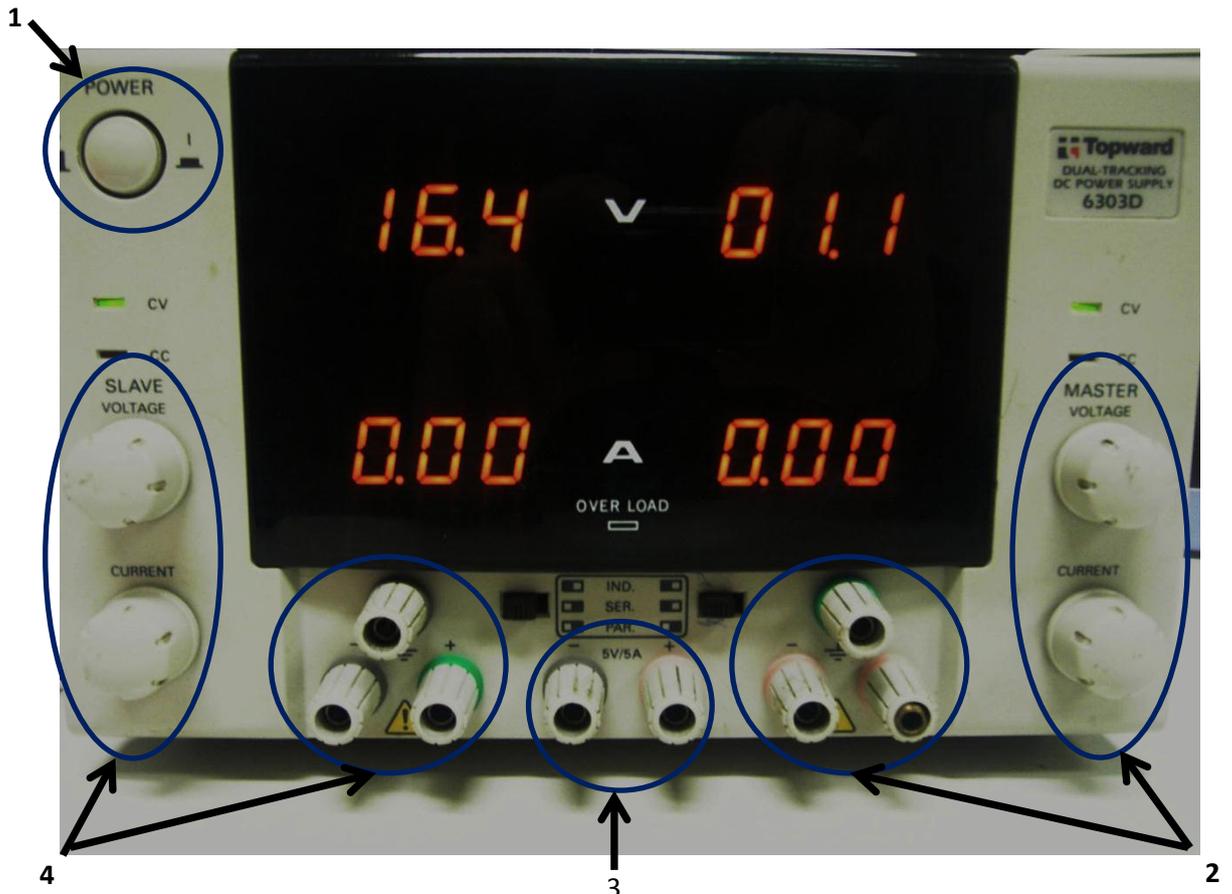


Figura 2 - Fonte de tensão

1. **Power:** Este botão serve para ligar ou desligar o aparelho
2. **Canal "Master":** Tem 3 conectores, "Input", "output" e "terra" (entrada verde). Tem 2 reguladores, um para a tensão e outro para a corrente. Servem para regular a quantidade de tensão ou de corrente fornecida ao circuito.
3. Saída de tensão constante de 5V e corrente limitada a 5A, normalmente usada para circuitos digitais.
4. **Canal "Slave":** Tem as mesmas funções do canal "Master" com a opção de poder ou não ser dependente do canal "Master".
5. Canal "Master" com a opção de poder ou não ser dependente do canal "Master".

## Gerador de sinais

O gerador de sinais é um aparelho electrónico que tem como objectivo gerar sinais de tensão periódicos. Produz diversos padrões de tensão em diferentes frequências, amplitudes e formas.

Os modelos presentes em laboratório permitem gerar sinais sinusoidais, triangulares e rectangulares de frequência e amplitude variáveis.

Na figura seguinte está representado um gerador de sinais, que pode ser encontrado em laboratório.

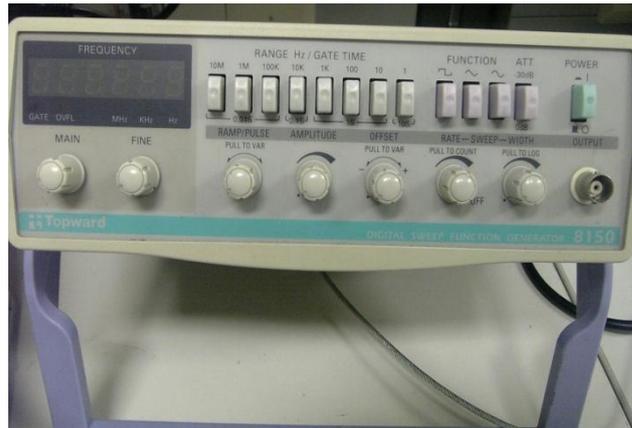


Figura 3 - Gerador de sinais



Figura 4 - Formas de ondas disponíveis no gerador de sinais

A selecção da forma de onda desejada é feita através dos botões “Function” representados na figura 3. A frequência do sinal gerado por este aparelho é ajustada pelos botões “main” e “fine” e a gama de frequências é seleccionada pelos botões “range”, podendo variar, neste caso, entre 1Hz e 10MHz, como mostra a figura 4.



Figura 5 - Gama de frequências

## Multímetro

O multímetro é um instrumento que é destinado a medir grandezas eléctricas, tais como: tensão (*Volt*), intensidade de corrente (*Ampere*), resistência eléctrica (*Ohm*) e capacidade (*Farad*).

Em muitos multímetros pode-se encontrar um modo que se denomina por “continuidade”, simbolizado por um díodo, que tem como função verificar se existe condutividade entre os dois pontos em que são colocadas as pontas de prova, caso isso aconteça o multímetro emitirá um som ou indicará essa informação no *display*.

O esquema seguinte ilustra um multímetro digital vulgarmente utilizado em laboratório.

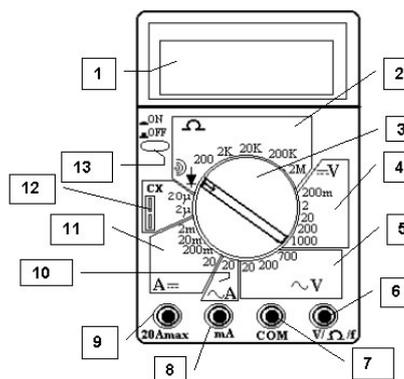


Figura 6 - Multímetro

1	Display	8	Ligação da ponta de prova vermelha para medições de corrente em miliamperes.
2	Escala para o ohmímetro	9	Ligação da ponta de prova vermelha para medições de corrente (máximo de 20 Amperes)
3	Seleccionador de medições e escalas	10	Escala para o amperímetro em AC
4	Escala para o voltímetro DC	11	Escala para o amperímetro em DC
5	Escala para o voltímetro AC	12	Escala para medição de capacidades
6	Ligação da ponta de prova vermelha para medições de tensão, resistência e capacidades	13	Botão ligar/desligar
7	Ligação da ponta de prova preta.		

Tabela 1 - Descrição de um multímetro

### Observações:

- Para medições de tensão o multímetro deverá estar em paralelo com o circuito;
- Para medições de corrente o multímetro deverá estar em série com o circuito;
- A medição de resistências eléctricas deverá ser realizada fora do circuito;
- Na medição de tensões em AC o multímetro mostra-nos o valor da tensão eficaz, dada por  $V_{ef} = \frac{V}{\sqrt{2}}$  para ondas sinusoidais, em que V é a tensão de pico.

## Placa Branca

A placa branca ou *breadboard* (figura 7) é utilizada para montar temporariamente um protótipo de um circuito eléctrico.

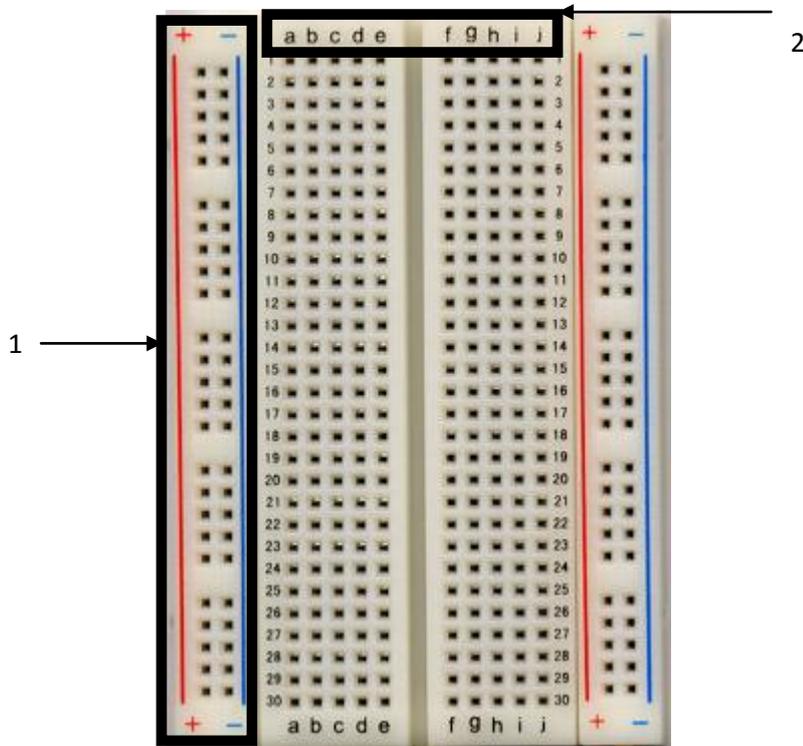


Figura 7 - Placa branca

- 1) Estas filas são utilizadas normalmente para fornecer energia ao circuito, e estão interligadas verticalmente.
- 2) Filas internamente ligadas entre si, na horizontal. As secções (abcde e fghij) estão separadas. Geralmente, nestas filas são ligados os elementos constituintes do circuito.

Na figura seguinte está apresentada uma resistência montada:

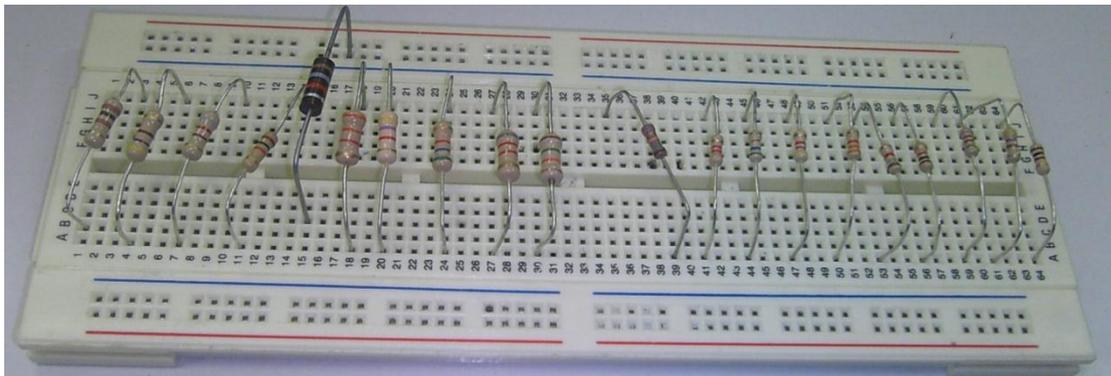
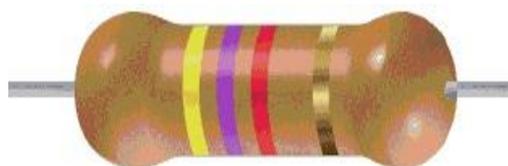


Figura 8 - Resistências colocadas em placa branca

## Medições de resistências

Para o trabalho II, numa forma de começar a lidar na prática com alguns dos materiais de laboratório apresentados no ponto anterior, foram escolhidas 20 resistências (10 de  $\frac{1}{2}$  W, 10 de  $\frac{1}{4}$  W) sendo necessário caracterizar cada uma delas, através de valores da resistência, tensão aos seus terminais e também a corrente que por elas passam.

Inicialmente foi feita uma leitura a partir de um código de cores. O código de cores, convencionado para caracterizar o valor óhmico de cada resistência, tem regras precisas para determinar o seu valor.



Cor	1ª Banda	2ª Banda	Multiplicador	Tolerância (+/-)
Preto	0	0	1	
Castanho	1	1	10	
Vermelho	2	2	100	0,02
Laranja	3	3	1000	
Amarelo	4	4	10000	
Verde	5	5	100000	
Azul	6	6	1000000	
Violeta	7	7	10000000	
Cinzento	8	8	100000000	
Branco	9	9	1000000000	
Dourado				0,05
Prateado				0,10

Tabela 2 – Código de cores

Resistência	1/2W	Tolerância	1/4W	Tolerância
R1	100	5%	100	5%
R2	470	5%	470	5%
R3	820	5%	820	5%
R4	1000	5%	1000	5%
R5	1800	10%	1800	5%
R6	3300	5%	3300	5%
R7	4700	5%	4700	5%
R8	5600	5%	5600	5%
R9	8200	5%	8200	5%
R10	15000	5%	15000	5%

Tabela 3 – Valor das resistências e respectivas tolerâncias

A primeira e segunda cores que surgem indicadas na resistência definem o primeiro número que será multiplicado pelo valor equivalente a cor da terceira banda. A cor mais espaçada entre as quatro é referente à tolerância da resistência, ou seja, a margem de erro em percentagem.

**Exemplo:** vermelho . verde . vermelho . prateado

1 e 5 x100 0,05

15 x100 0,05

1500Ω com tolerância de 5%

Em seguida com a manipulação de um multímetro verificou-se experimentalmente os valores das resistências em observação. De seguida averiguou-se se estas se encontravam no intervalo de tolerância suposto. A tabela seguinte mostra os resultados obtidos:

	Potência	Leitura de valores no Ohmímetro: (Ω)
Resistência 1	1/2W	99,2
Resistência 2	1/2W	467
Resistência 3	1/2W	808
Resistência 4	1/2W	985
Resistência 5	1/2W	1817
Resistência 6	1/2W	3260
Resistência 7	1/2W	4650
Resistência 8	1/2W	5510
Resistência 9	1/2W	8290
Resistência 10	1/2W	15000
Resistência 11	1/4W	95
Resistência 12	1/4W	466
Resistência 13	1/4W	814
Resistência 14	1/4W	996
Resistência 15	1/4W	1788
Resistência 16	1/4W	3270
Resistência 17	1/4W	4640
Resistência 18	1/4W	5540
Resistência 19	1/4W	8110
Resistência 20	1/4W	15030

Tabela 4 – Valores das resistências obtidas com o ohmímetro

De modo a conseguir comprovar os valores obtidos anteriormente, foi pedido no enunciado o valor da corrente que passa em cada resistência, sem usar o amperímetro.

Assim, colocando em cada uma das resistências em série com uma resistência fixa de 10 *Ohm* e aplicando uma tensão de 10 *Volt*, foi lida a tensão aos terminais da resistência denominada de  $R_0$ .

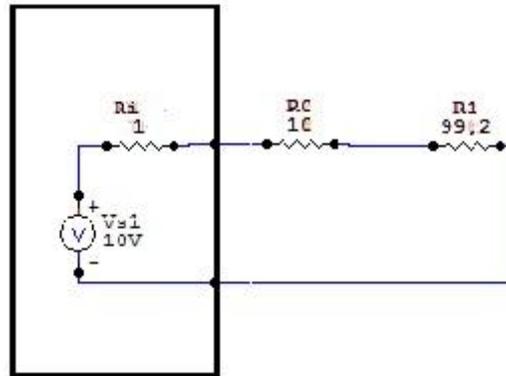


Figura 9 - Tensão aos terminais de  $R_0$

A partir desses valores, foram calculados os valores de intensidade (na resistência  $R_0$ ) através da Lei de *Ohm*:

$$I = \frac{V}{R_0}$$

Para calcular o valor de cada uma das resistências, foi necessário conhecer qual o valor de tensão que passa na segunda resistência (na figura 9 é usada a resistência  $R_1$ , sendo que são usadas todas elas). É então medido aos terminais da resistência  $R_0$ , sabendo deste modo o valor da tensão que passa nela. Se for retirado esse valor aos 10 *volt* aplicados pela fonte de tensão, chegou-se ao valor de tensão de cada uma das resistências. Assim, e uma vez que a  $R_0$  está em Série com todas as resistências, o valor da corrente que passa em cada uma delas é a mesma.

Reorganizando a Lei de *Ohm* em função de R, calcula-se o valor de resistência. Por fim, verificou-se se os valores obtidos se encontravam na tolerância indicada na resistência (Tabela 4).

	Potência	Lidos		I	V-V(R0)	Rx	Diferencial	
		V	V(R0)				Absoluto	Relativo
Resistencia 1	1/2W	10	0,924	0,0924	9,076	98,22511	0,974892	0,97%
Resistencia 2	1/2W	10	0,208	0,0208	9,792	470,7692	3,769231	0,80%
Resistencia 3	1/2W	10	0,1217	0,01217	9,878	811,6927	3,692687	0,45%
Resistencia 4	1/2W	10	0,1001	0,01001	9,900	989,001	4,000999	0,40%
Resistencia 5	1/2W	10	0,0459	0,00459	9,954	2168,649	351,6492	19,54%
Resistencia 6	1/2W	10	0,0302	0,00302	9,970	3301,258	41,25828	1,25%
Resistencia 7	1/2W	10	0,0212	0,00212	9,979	4706,981	56,98113	1,21%
Resistencia 8	1/2W	10	0,0179	0,00179	9,982	5576,592	66,59218	1,19%
Resistencia 9	1/2W	10	0,0119	0,00119	9,988	8393,361	103,3613	1,26%
Resistencia 10	1/2W	10	0,0066	0,00066	9,993	15141,52	141,5152	0,94%
Resistencia 11	1/4W	7	0,651	0,0651	6,349	97,52688	2,526882	2,53%
Resistencia 12	1/4W	7	0,1474	0,01474	6,853	464,8982	1,101764	0,23%
Resistencia 13	1/4W	7	0,085	0,0085	6,915	813,5294	0,470588	0,06%
Resistencia 14	1/4W	7	0,0696	0,00696	6,930	995,7471	0,252874	0,03%
Resistencia 15	1/4W	7	0,0388	0,00388	6,961	1794,124	6,123711	0,34%
Resistencia 16	1/4W	7	0,0212	0,00212	6,979	3291,887	21,88679	0,66%
Resistencia 17	1/4W	7	0,015	0,0015	6,985	4656,667	16,66667	0,35%
Resistencia 18	1/4W	7	0,0125	0,00125	6,988	5590	50	0,89%
Resistencia 19	1/4W	7	0,0086	0,00086	6,991	8129,535	19,53488	0,24%
Resistencia 20	1/4W	7	0,0046	0,00046	6,995	15207,39	177,3913	1,18%

Tabela 5 – Valores de tolerância obtidos

## Ponto II

### Implementação do circuito

Nesta parte do trabalho foi pedido ao grupo a verificação das leis de *Kirchhoff* ou seja:

- **Lei das Correntes:** a soma algébrica das correntes que entram é igual a soma algébrica das correntes que saem;
- **Lei das Tensões:** a soma das tensões numa malha tem de ser igual a zero.

Assim com base nestas duas leis foi analisado o circuito (figura 10).

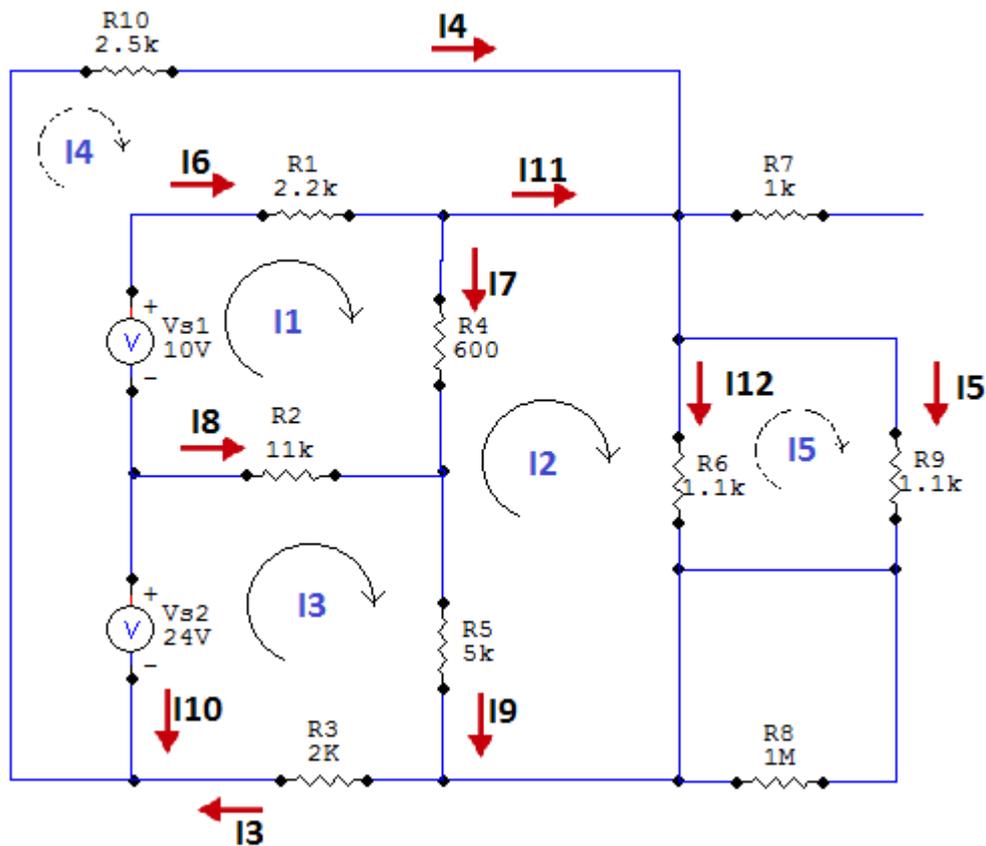


Figura 10 - Circuito implementado em Circuit Maker

Na resolução deste circuito (figura 10) aplicou-se a análise de malhas para calcular as correntes em cada ramo.

**Nota:** Não foi analisada a corrente que passa na resistência de 1MΩ, pois esta resistência está com os terminais conectados.

$$\begin{cases} -10 + 2200(I_1 - I_4) + 600(I_1 - I_2) + 11000(I_1 - I_3) = 0 \\ 600(I_2 - I_1) + 1100(I_2 - I_5) + 5000(I_2 - I_3) = 0 \\ -24 + 11000(I_3 - I_1) + 5000(I_3 - I_2) + 2000(I_3) = 0 \\ 10 + 24 + 2500(I_4) + 2200(I_4 - I_1) = 0 \\ 1100(I_5 - I_2) + 1100(I_5) = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 13800I_1 - 2200I_4 - 600I_2 - 11000I_3 = 10 \\ -600I_1 + 6700I_2 - 5000I_3 - 1100I_5 = 0 \\ -11000I_1 - 5000I_2 + 18000I_3 = 24 \\ -2200I_1 + 4700I_4 = -34 \\ -1100I_2 + 2200I_5 = 0 \end{cases}$$

No desenvolvimento do sistema anterior obtêm-se os seguintes valores de corrente:

$$\Leftrightarrow \begin{cases} I_1 = 0,004279 \\ I_2 = 0,004686 \\ I_3 = 0,00525 \\ I_4 = -0,00523 \\ I_5 = 0,002343 \end{cases}$$

**Nota:** A corrente  $I_4$  tem sinal negativo, o que significa que o sentido definido é contrário ao verdadeiro.

As correntes  $I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}$  e  $I_{12}$  obtêm-se pela subtracção das correntes  $I_1, I_2, I_3, I_4$  e  $I_5$ . Desta forma temos:

$$I_6 = I_1 - I_4 = 0,004279 - 0,00523 = 0,00951A$$

$$I_7 = I_1 - I_2 = 0,004279 - 0,004686 = -0,00041A$$

$$I_8 = I_3 - I_1 = 0,00525 - 0,004279 = 0,000971A$$

$$I_9 = I_3 - I_2 = 0,00525 - 0,004686 = 0,000564A$$

$$I_{10} = I_3 - I_4 = 0,00525 - 0,00523 = -0,01048A$$

$$I_{11} = I_2 - I_4 = 0,004686 - 0,00523 = 0,009917A$$

$$I_{12} = I_2 - I_5 = 0,004686 - 0,002343 = 0,002343A$$

Depois de feitos os cálculos verificou-se com um simulador de circuitos a correspondência do valor das correntes (figura 11).

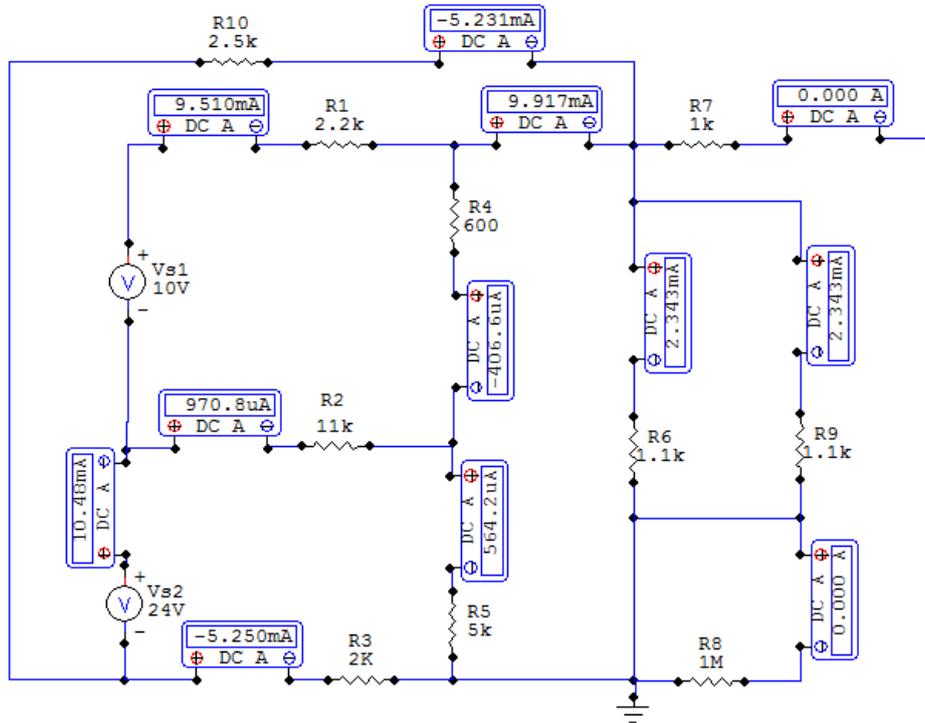


Figura 11 - Verificação dos cálculos em Circuit Maker

A tabela seguinte mostra os valores práticos lidos das tensões (aos terminais de cada resistência) e das correntes (em série com cada uma das resistências). A figura 12 mostra o circuito montado em placa branca:

Valores práticos			
Componente	R( $\Omega$ )	V(v)	I(a)
R1	2200	19,78	0,008991
R2	11000	10,18	0,000925
R3	2000	10,33	0,005165
R4	600	0,223	-0,000372
R5	5000	2,76	0,000552
R6	1100	2,55	0,002318
R7	1000	0	0
R8	1000000	0,0003	3E-10
R9	1100	2,55	0,002318
R10	2500	12,9	- 0,00516
Vs1		10	0,0091
Vs2		24	0,0101

Tabela 6 – Valores práticos

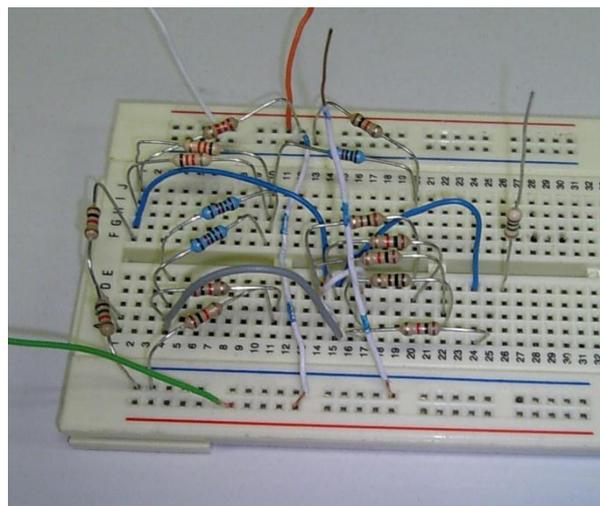


Figura 12 - Circuito montado em placa branca

## Leis de Kirchhoff

Verificação das leis de *Kirchhoff* do circuito, pelos valores apresentados teoricamente/valores lidos no *Circuit Maker* e valores lidos na prática das tensões e correntes.

- Lei das correntes (foi escolhido ao acaso o nodo apresentado na figura abaixo)

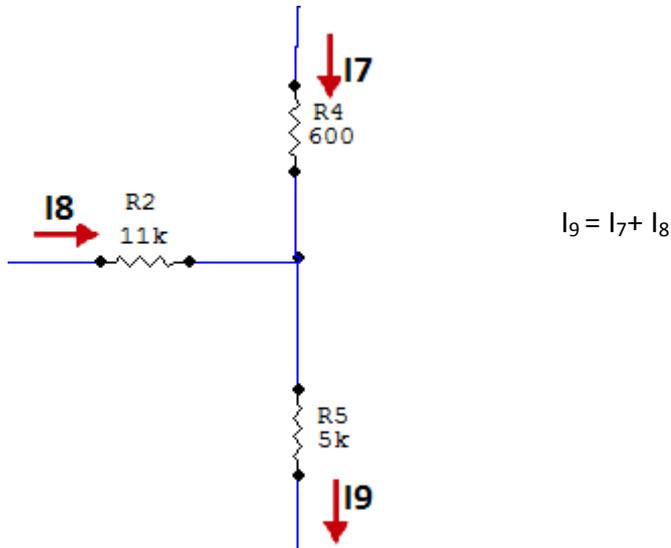


Figura 13 - Nodo do circuito escolhido para aplicar a lei das correntes

**Para os valores teóricos/valores no *Circuit Maker*:**

$$I_9 = 0,000564A$$

$$I_9 = I_7 + I_8 = -0,00041 + 0,000971 = \mathbf{0,000561A}$$

**Para os valores lidos na prática:**

$$I_9 = 0,000552A$$

$$I_9 = I_7 + I_8 = -0,000372 + 0,000925 = \mathbf{0,000553A}$$

Verifica-se então que os valores teóricos e práticos são aproximadamente iguais.

- Lei das tensões (malha escolhida apresentada abaixo):

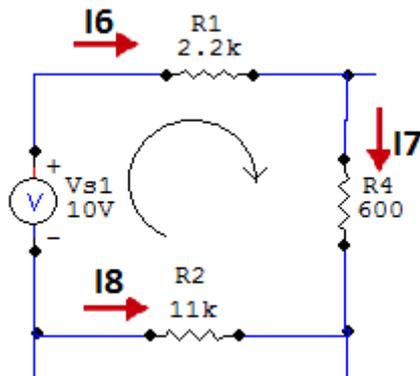


Figura 1 – Malha do circuito escolhida para aplicar a lei das tensões

Para os valores teóricos/valores no *Circuit Maker*:

$$\begin{aligned}
 -V_{S1} + V_{R1} + V_{R2} - V_{R2} &= 0 \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow -V_{S1} + R_1 I_6 + R_4 I_7 - R_2 I_8 &= 0 \\
 \Leftrightarrow -10 + 2200 * 0,009510 + 600 * (-0,0004066) + 11000 * (-0,000971) &= 0 \\
 \Leftrightarrow -0,00296 &= 0
 \end{aligned}$$

Para os valores lidos na prática:

$$\begin{aligned}
 -V_{S1} + V_{R1} + V_{R2} - V_{R2} &= 0 \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow -V_{S1} + R_1 I_6 + R_4 I_7 - R_2 I_8 &= 0 \\
 \Leftrightarrow -10 + 2200 I_6 + 600 I_7 + 11000 I_8 &= 0 \\
 \Leftrightarrow -10 + 2200 * 0,008991 + 600 * (-0,000372) + 11000 * (-0,000925) &= 0 \\
 \Leftrightarrow -0,618 &= 0
 \end{aligned}$$

Verifica-se a lei da tensão de *Kirchhoff* tanto para valores teóricos como para valores lidos na prática pois os resultados obtidos na soma das tensões nesta malha foram aproximadamente 0.

## Balanço de Potências

No cálculo da potência de qualquer componente eléctrico, é utilizada a expressão  $P = V \times I$ , sendo que 'V' é a tensão aos terminais desse componente e 'I' a corrente que o atravessa.

No caso das resistências é possível aplicar a lei de ohm, simplificando assim os cálculos de potência neste tipo de componente, chegando-se às expressões: " $P=V^2/R$ " e " $P=R(I^2)$ ".

No cálculo das potências do circuito aplicou-se a expressão " $P=R(I^2)$ " para as resistências e " $P=VI$ " para as fontes de alimentação.

O cálculo das potências no circuito foi feito através dos dados obtidos em laboratório (Valores práticos) e também dos dados teóricos (Valores teóricos) e estão expressos nas tabelas seguintes.

Valores teóricos	
Componente	Potência [ $R \cdot (I^2)$ ]
R1	0,19896822
R2	0,010371251
R3	0,055125
R4	9,93894E-05
R5	0,00159048
R6	0,006038614
R7	0
R8	0
R9	0,006038614
R10	0,068408403
Vs1	0,0951
Vs2	0,251544
Σ das potências nas resistências	0,34664
Σ das potências nas fontes	0,346644

Tabela 7 - Valores teóricos

Valores práticos			
Componente	(v)	I(a)	P=VI
R1	19,78	0,008991	0,17784
R2	10,18	0,000925	0,00921
R3	10,33	0,005165	0,053354
R4	,223	0,000372	8,29E-05
R5	2,76	0,0005	0,001524
R6	2,55	0,002318	0,005911
R7	0	0	0
R8	0,0003	3E-10	9E-14
R9	2,55	0,002318	0,005911
R10	12,9	0,00516	0,066564
Vs1	10	0,0091	0,091
Vs2	24	0,0101	0,2424
Σ das potências nas resistências			0,320609
Σ ds potências nas fontes			0,3334

Tabela 8 – Valores práticos

Conclui-se então que o somatório das potências absorvidas pelas resistências é praticamente igual às potências fornecidas pelas fontes, sendo este desfazamento causado por imprecisão das leituras e erros por arredondamentos.

## Discussão

Na leitura do valor de resistências, houve uma resistência (R5) cuja tolerância foi excedida. Numa tentativa de explorar uma possível explicação, foi utilizado um multímetro diferente na leitura do valor da resistência, chegando então a um valor dentro da tolerância da referida resistência. É de notar que com o segundo multímetro utilizado, foram medidas todas as outras resistências, sendo que todas elas mantiveram o valor previamente obtido.

Contudo, executando o exercício seguinte, que implicava provar a lei de *Ohm*, o valor de resistência obtido na resistência R5, indicou uma alteração na ordem dos 20%, excedendo em cerca de 10% o valor de tolerância previamente estabelecido para a resistência. Inicialmente foi aplicado a mesma tentativa de resolução do problema utilizando um multímetro diferente para a leitura aos terminais da resistência. Este procedimento não teve sucesso. A resistência é de carvão, pelo que a sua composição não indicia o real motivo desta perturbação.

Por fim, a opção utilizada foi a de criação de uma regressão linear com os valores lidos da resistência, com diferentes valores de tensão. Foi feita esta regressão linear nas resistências R5 e R10. Os resultados obtidos são mostrados nos gráficos em baixo:

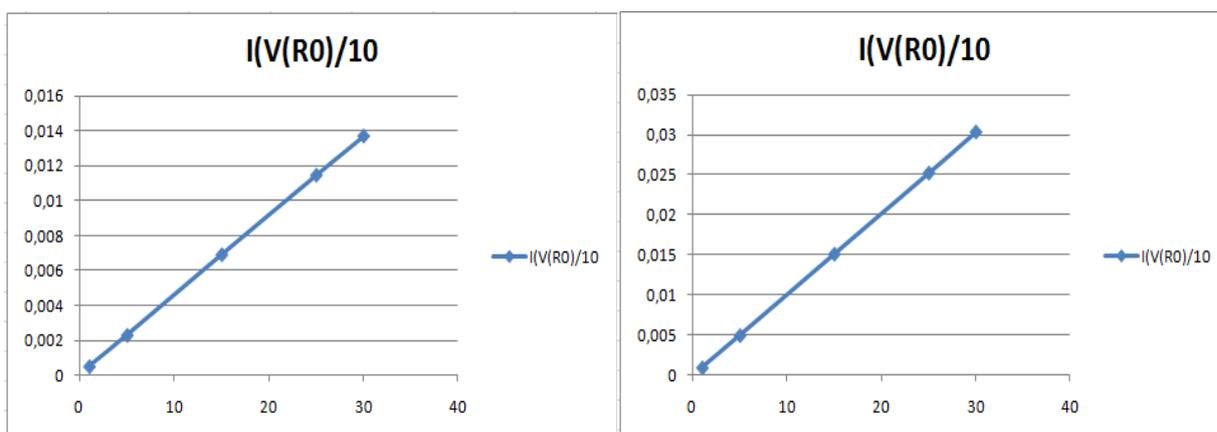


Gráfico 1 – Regressão linear na resistência R5

Gráfico 2 – Regressão linear na resistência R4

Como se pode comprovar, traçando uma linha pelos pontos alcançados, obtém-se uma recta mostrando que se trata de material óhmico. Este resultado permite concluir que o valor da resistência consoante a tensão aplicada mantém sempre o mesmo valor obtido inicialmente, pelo que não foi alcançada uma possível explicação para um desvio tão elevado do valor da resistência.

## Conclusão – Trabalho I

Neste primeiro trabalho do projecto temático em Circuitos Eléctricos foi pedido ao grupo que aplicasse e verificasse as leis de *Kirchhoff* e de *Ohm*. Estas leis permitem analisar qualquer circuito eléctrico, facilitando assim o cálculo de todas as tensões e correntes existentes no circuito. Existem algumas formas de cálculo que permitem que o cálculo destas grandezas se torne mais simples, tais como a análise nodal e análise de malhas, que permitem simplificar as equações de *Kirchhoff*.

Foi conseguido fazer um enquadramento dos valores das resistências, tendo sido inicialmente provado que os valores adquiridos pela tabela de cores correspondem aos valores obtidos na leitura do multímetro.

Contudo, ao comprovar experiencialmente, uma das resistências utilizadas, como foi demonstrado acima neste relatório, revelou uma discrepância de cerca de 10% acima da tolerância de erro. Foi explorado pelo grupo várias maneiras para tentar perceber qual o problema com a resistência. As anteriormente descritas, como sendo, a mudança de multímetro, a sua composição, a comprovação desta ser material óhmico. Existe a possibilidade de falha humana, todavia foi explorada pelo grupo, auxiliados pelo orientador, várias tentativas de resolução do problema sendo que todas resultaram na mesma conclusão.

Foi também necessário fazer o balanço das potências do circuito. Neste ponto conclui-se que independentemente do circuito analisado, o balanço de potências é sempre igual a zero, ou seja, a energia que é fornecida ao circuito é dissipada pelo mesmo, respeitando assim o princípio da conservação da energia.

No que diz respeito ao planeamento, o mapa de *Gantt* foi cumprido uma vez que se realizaram todas as tarefas propostas.

# Trabalho II

- Teorema de *Thévenin* em regime sinusoidal  
estacionário -

## Descrição do problema

O principal objectivo do enunciado proposto no segundo período é a percepção de como provar o teorema de *Thévenin* em regime estacionário sinusoidal.

No intuito de perceber e alcançar esse mesmo objectivo, foi necessária a estruturação de alguns passos. Em primeiro lugar, por sugestão do enunciado, poderia ser criado de um circuito que englobasse um mínimo de duas malhas, condensadores e resistências. Nesse mesmo circuito seria necessário medir então as tensões e correntes, usando para isso o osciloscópio. Posteriormente para medir as correntes, utilizou-se a lei de *Ohm*, uma vez que eram conhecidos os valores da resistência e de tensão.

Contudo, foi difícil estabelecer o circuito de modo a que todas essas medições fossem claras e correctas. O circuito inicial determinou-se como sendo ambíguo, pelo que dificultaria a determinação do teorema de *Thévenin*. Numa tentativa de resolver esse problema, retiramos umas das 3 malhas que constituíam o circuito 1. Porém, voltou a haver complicações.

Uma vez que as resistências na malha 2 eram bastante superiores às da malha 1, a tensão está praticamente toda na malha 2, impedindo de medir correctamente o desfasamento (circuito 1 e 2 encontram-se em anexo). Assim, o circuito teve de ser novamente reformulado (figura 14). Desta feita, foram

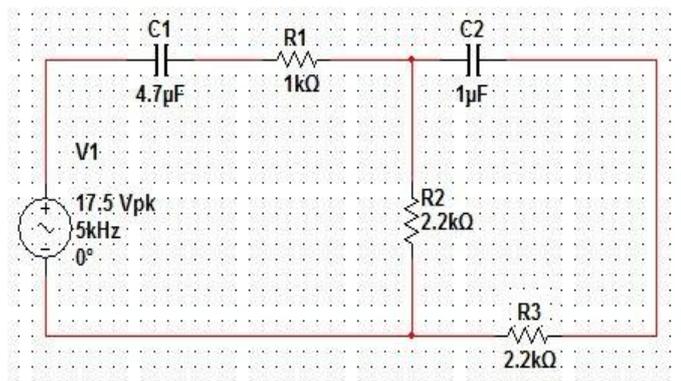


Figura 14 - Circuito final

alteradas as posições de algumas resistências bem como aumentar o seu valor ôhmico.

Por último, é proposto ao grupo uma reflexão sobre se fará ou não sentido ter mais que uma fonte para a realização de todas as tarefas acima referidas.

## Conceitos teóricos

### Condensador

Um condensador (figura 15) é um dispositivo que tem como função armazenar carga eléctrica. A capacidade de um condensador para armazenar carga é medida em termos de carga por tensão aplicada e tem como unidade o **Farad (F)**.

$$\text{Então: } \mathbf{Capacidade} = \frac{Q}{V} \text{ [F]}$$

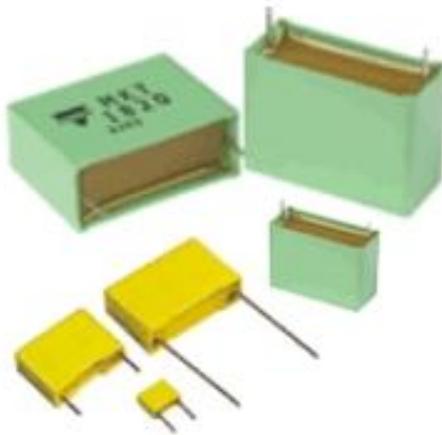


Figura 15 - Condensadores de polyester, utilizados no laboratório

O condensador é um dispositivo reactivo, ou seja, reage às variações de corrente. Essa reacção às alterações de corrente no condensador denomina-se por *reactância capacitiva*, a sua unidade é o *Ohm ( $\Omega$ )*, e depende da capacidade do condensador e da frequência de sinal que lhe é aplicada, em tensão contínua o condensador comporta-se como um circuito aberto. Para calcular o valor de *reactância capacitiva* utiliza-se a seguinte expressão:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C j}$$

Em que  $f$  é a frequência em *Hertz*,  $C$  a capacidade do condensador em *Farad* e  $j$  a unidade imaginária ( $\sqrt{-1}$ ).

## Propriedades de uma onda sinusoidal

No segundo período iniciou-se o estudo de circuitos eléctricos em regime sinusoidal estacionário.

Uma onda sinusoidal apresenta propriedades que são importantes para a análise de circuitos, sendo estas a *frequência* e o *valor de pico*. A partir das quais se deduzem outras propriedades igualmente utilizadas na análise de circuitos tais como o *período* e o *valor eficaz* de uma onda. Sendo que o *período* é o inverso da *frequência* e o *valor eficaz* é dado pela expressão  $V_{ef} = \frac{V_{pico}}{\sqrt{2}}$ .

Na figura seguinte estão representadas as propriedades de uma onda sinusoidal.

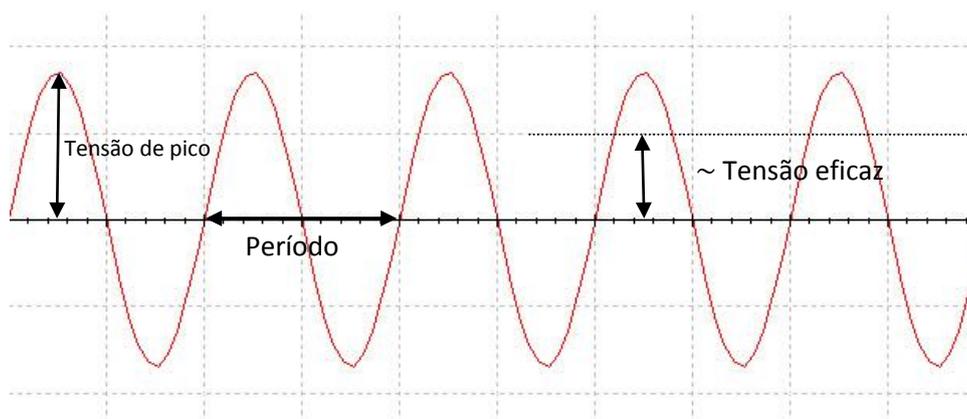


Figura 16 - Propriedades de uma onda sinusoidal

O valor de tensão eficaz simboliza o valor de tensão continua capaz de realizar o mesmo trabalho que a tensão alternada.

## Transformador isolador

O transformador isolador (figura 17) é um transformador de relação 1:1 e permite isolar as massas do osciloscópio e da fonte, o que na prática quer dizer que, na montagem de um circuito, é permitido o uso da massa do gerador de sinais num local diferente do da massa do osciloscópio, como é evidenciado na figura do circuito (figura 18). Assim permite efectuar medições de tensões no circuito com uma referência diferente da massa do gerador de sinais.

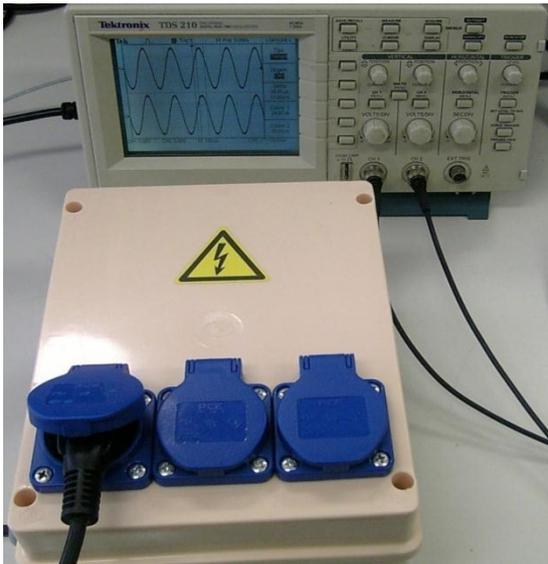


Figura 17 - Transformador isolador

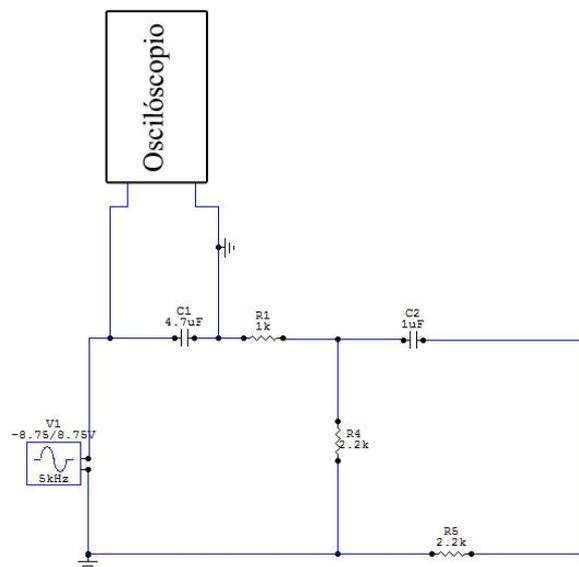


Figura 18 – Circuito com massas do osciloscópio e da fonte isoladas

Isto evita não só danos no circuito, bem como danos nos equipamentos, tornando-se assim uma mais-valia para a análise do circuito.

## Implementação do circuito

### Análise teórica

No intuito de analisar as tensões e correntes foi criado pelo grupo um circuito que engloba duas malhas com condensadores e resistências (figura 19).

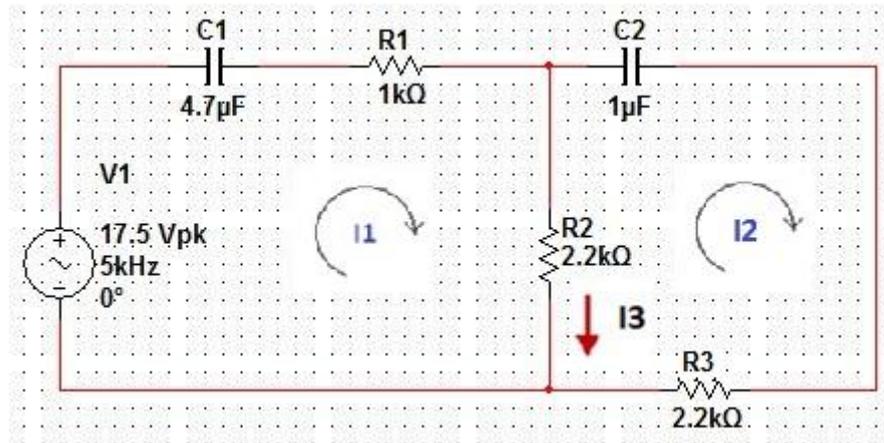


Figura 19 - Circuito final

Em primeiro lugar calcularam-se as reactâncias capacitivas dos condensadores  $C_1$  e  $C_2$ . De seguida arbitrou-se o sentido das correntes e formou-se um sistema de três equações e três incógnitas.

$$X_{c1} = -\frac{1000}{47\pi}j$$

$$X_{c2} = -\frac{100}{\pi}j$$

$$\begin{cases} -6.2 + \left(1000 - \frac{1000}{47\pi}j\right)I_1 + 2200(I_1 - I_2) = 0 \\ 2200(I_2 - I_1) + \left(2200 - \frac{100}{\pi}j\right)I_2 = 0 \\ I_3 = (I_1 - I_2) \end{cases}$$

Resolvendo o sistema obtiveram-se os seguintes valores das correntes:

$$\begin{cases} I_1 = 2.952154787 \times 10^{-3} + 2.0706523 \times 10^{-5}j \\ I_2 = 1.475925252 \times 10^{-3} + 2.1030571 \times 10^{-5}j \\ I_3 = 1.476229535 \times 10^{-3} + 3.24048 \times 10^{-7}j \end{cases}$$

De seguida calcularam-se as tensões em todos os equipamentos do circuito:

$$V_{C1} = X_{C1} \times I_1 \Leftrightarrow V_{C1} = \left(-\frac{1000}{47\pi}j\right) \times (2.952154787 \times 10^{-3} + 2.0706523 \times 10^{-5}j) \Leftrightarrow$$

$$V_{C1} = 1,40235978 * 10^{-4} - 1,9993618175 * 10^{-2}j \text{ V}$$

$$V_{R1} = R_1 \times I_1 \Leftrightarrow V_{R1} = (1000) \times (2.952154787 \times 10^{-3} + 2.0706523 \times 10^{-5}j) \Leftrightarrow$$

$$V_{R1} = 2,952154787 + 0,020706523j \text{ V}$$

$$V_{C2} = X_{C2} \times I_2 \Leftrightarrow V_{C2} = \left(-\frac{100}{\pi}j\right) \times (1.475925252 \times 10^{-3} + 2.1030571 \times 10^{-5}j) \Leftrightarrow$$

$$V_{C2} = -6,69423866 * 10^{-4} + 4,6980159834 * 10^{-2}j \text{ V}$$

$$V_{R2} = R_2 \times I_2 \Leftrightarrow V_{R2} = (2200) \times (1.475925252 \times 10^{-3} + 2.1030571 \times 10^{-5}j) \Leftrightarrow$$

$$V_{R2} = 3,24703555 + 0,0462672562j \text{ V}$$

$$V_{R3} = R_3 \times I_3 \Leftrightarrow V_{R3} = (2200) \times 1.476229535 \times 10^{-3} + 3.24048 \times 10^{-7}j) \Leftrightarrow$$

$$V_{R3} = 3,247704977 + 7,129056 * 10^{-4}j \text{ V}$$

**Verificação da lei das malhas:**

**Malha 1:**

$$-V_s + V_{C1} + V_{R1} + V_{R2} = 0 \Leftrightarrow -0.020663045197 + 0.0669737792j \approx 0$$

**Malha 2:**

$$-V_{R2} + V_{C1} + V_{R3} = 0 \Leftrightarrow 0.000809662978 - 0.065547968775j \approx 0$$

## Análise no simulador

A figura abaixo mostra o circuito implementado num *software* simulador (*Multisim*):

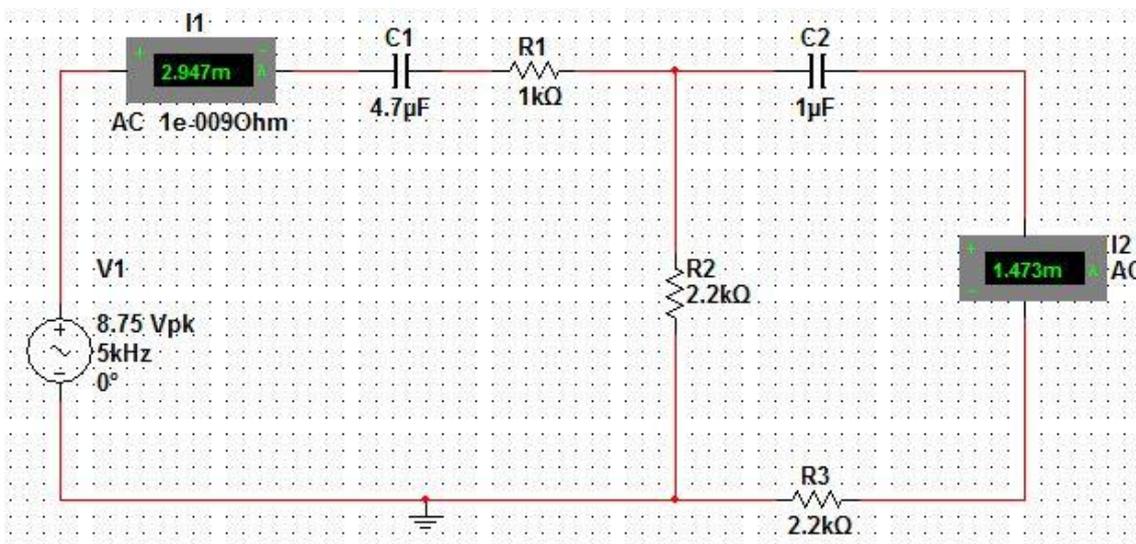


Figura 20 - Circuito implementado em Multisim

A próxima tabela mostra as tensões calculadas teoricamente e as calculadas pelo *Multisim*:

Tensão	Valor calculado teoricamente (V)	Valor Calculado pelo <i>Multisim</i> (V)
$ V_{C1} $	0,019994109979	0,019958707119
$ V_{R1} $	2,95222737427	2,947
$ V_{C2} $	0,046984928928	0,046887046235
$ V_{R2} $	3,24736516609	3,2428
$ V_{R3} $	3,24770505525	3,2406

Tabela 9 - Valores obtidos no Multisim

## Análise prática

### Cálculo dos desfasamentos

Para calcular os desfasamentos foi estabelecida a fonte como referência e utilizados os seguintes valores:

**Frequência:** 5kHz

**Período:** 199,8 $\mu$ s

$$V = 17,5(\cos 0^\circ + \text{sen} 0^\circ j)(V)$$

A tensão na fonte foi medida nos terminais da mesma com um osciloscópio e tomada como onda de referência para todos os outros componentes.

A medição da queda de tensão nos componentes foi obtida através da comparação da onda de referência com a onda que se pretende estudar (onda medida aos terminais do componente em análise). Através dessa comparação é retirado o valor do desfasamento entre ondas e medida a amplitude da onda analisada.

#### Na resistência R<sub>3</sub>:

Desfasamento=680n s

$$360 \longrightarrow 199,8 \times 10^{-6}$$

$$x \longrightarrow 6,8 \times 10^{-9}$$

$$X=1,24^\circ$$

$$V_{R3} = 9,2(\cos 1,24^\circ + \text{sen} 1,24^\circ j)(V)$$

#### Na resistência R<sub>2</sub>:

Desfasamento=274n s

$$360 \longrightarrow 199,8 \times 10^{-6}$$

$$x \longrightarrow 274 \times 10^{-9}$$

$$X=49,8^\circ$$

$$V_{R2} = 8,8(\cos 49,8^\circ + \text{sen} 49,8^\circ j)(V)$$

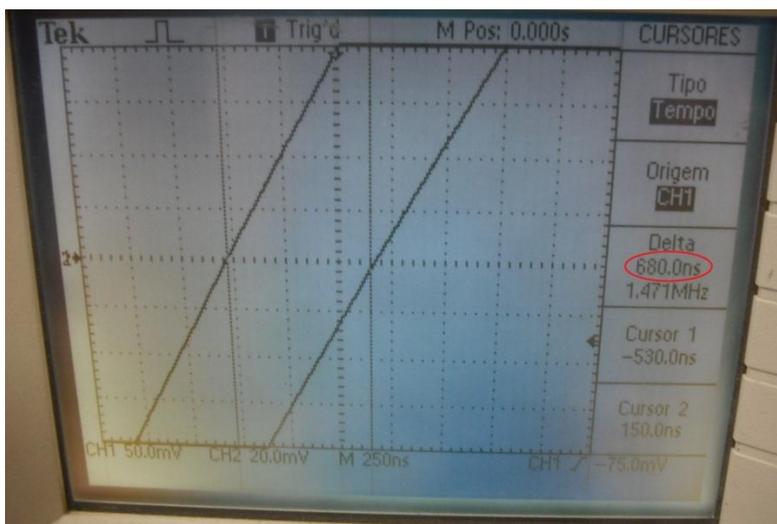


Figura 21 – Desfasamento em  $R_2$

No condensador  $C_2$ :

Desfasamento= $49,2\mu s$

$$360 \longrightarrow 199,8 \times 10^{-6}$$

$$x \longrightarrow 49,2 \times 10^{-6}$$

$$X=89,45^\circ$$

$$V_{c2} = (130 \times 10^{-3})(\cos 89,45^\circ + \text{sen} 89,45^\circ j)(V)$$

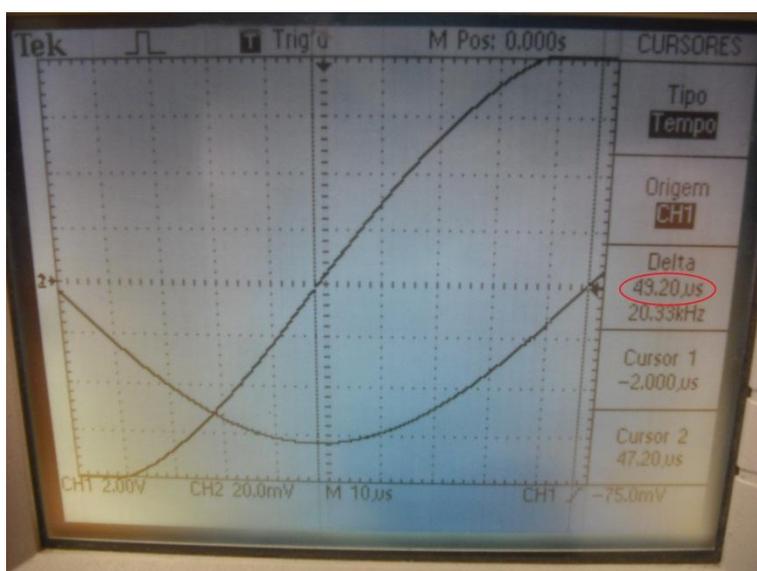


Figura 22 - Desfasamento em  $C_2$

**Na resistência  $R_1$ :**

Desfasamento=540ns

$$360 \longrightarrow 199,8 \times 10^{-6}$$

$$x \longrightarrow 540 \times 10^{-9}$$

$$X=9,8^\circ$$

Para o cálculo desta tensão foi necessário subtrair a queda de tensão do paralelo entre o condensador  $C_2$ , resistência  $R_3$ , resistência  $R_2$  com a queda tensão do paralelo entre o condensador  $C_2$ , resistência  $R_3$  resistência  $R_2$  mais a queda de tensão da resistência  $R_1$ . Este cálculo foi efectuado pelo sítio onde as massas estavam colocadas.

$$V_{R1} = 8,4(\cos 9,8^\circ + \text{sen} 9,8^\circ j)(V)$$

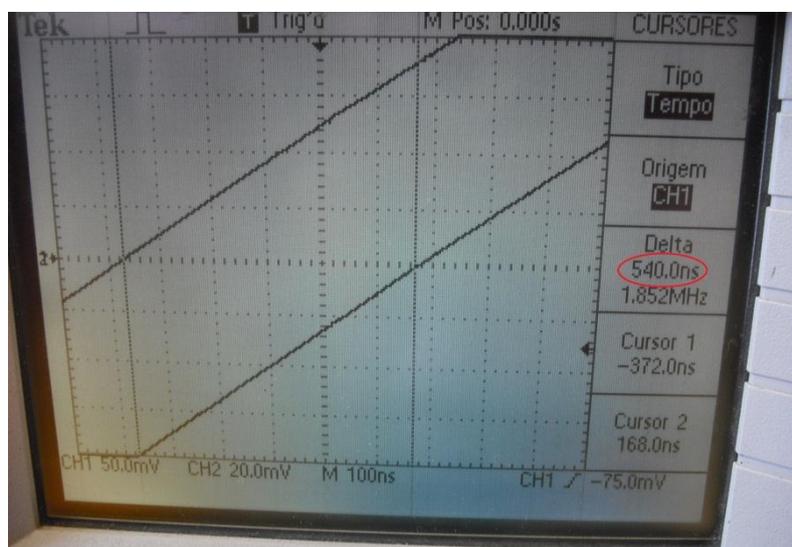


Figura 23 - Desfasamento em  $R_1$

**No condensador  $C_1$ :**

Desfasamento=48,3 $\mu$ s

$$360 \longrightarrow 199,8 \times 10^{-6}$$

$$x \longrightarrow 48,3 \times 10^{-6}$$

$$X=78,18^\circ$$

$$V_{c1} = (49,6 \times 10^{-3})(\cos 78,18^\circ + \operatorname{sen} 78,18^\circ j)(V)$$

**Cálculo das correntes**

**Pela lei de ohm:**  $I = \frac{U}{R}$

**Corrente  $I_1$ :**

$$I_1 = \frac{8.4(\cos 9.8 + \operatorname{sen} 9.8j)}{1000} = 8.277426347 \times 10^{-3} + 1.429759793 \times 10^{-3}j \text{ A}$$

**Corrente  $I_2$ :**

$$I_2 = \frac{9.2(\cos 1.2 + \operatorname{sen} 1.2j)}{2200} = 4.18090104 \times 10^{-3} + 8.7577392 \times 10^{-5}j \text{ A}$$

**Corrente  $I_3$ :**

$$I_3 = I_1 - I_2 =$$

$$= (8.277426347 \times 10^{-3} + 1.429759793 \times 10^{-3}j)$$

$$- (4.18090104 \times 10^{-3} + 8.7577392 \times 10^{-5}j) =$$

$$= 4.096525307 \times 10^{-3} + 1.342182401 \times 10^{-3}j \text{ A}$$

## Diagramas fasoriais

Um fasor é um vector representante de uma tensão ou corrente, representada no plano de *Argand*. Quando várias tensões ou correntes estão representadas, chama-se a isso um diagrama fasorial. A principal função do diagrama fasorial é verificar os ângulos de defasamentos de tensão e corrente existentes no circuito. A soma resultante de todos esses vectores tem de ser igual a zero, ou seja, ao substituir as incógnitas no sistema de equações resultante da análise, pelos valores complexos, o resultado terá de ser zero.

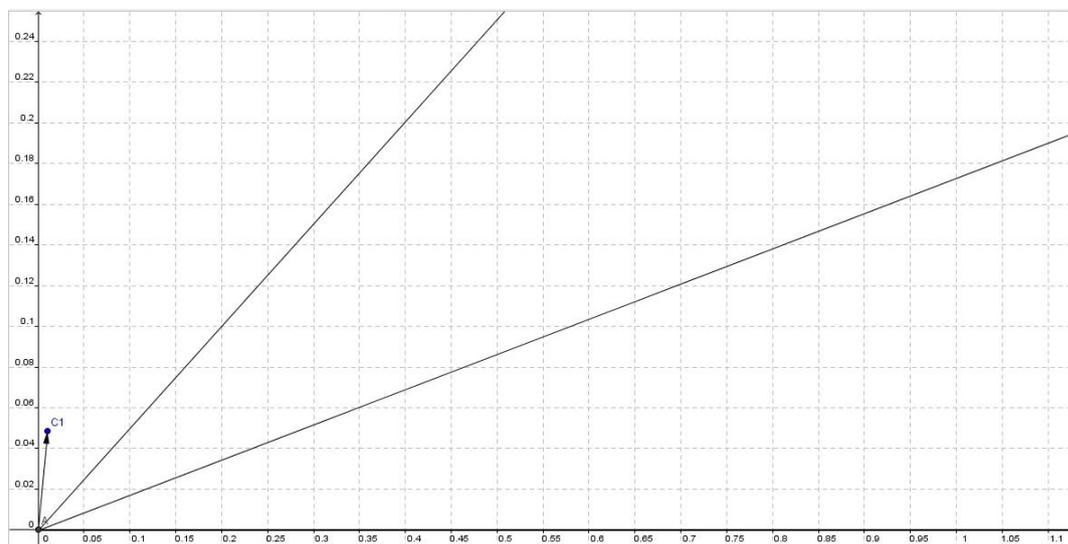
Analisando o circuito com uma frequência de 5kHz obtiveram-se os seguintes valores:

Componente	Reactância /Reactância $\Omega$	Tensão
R1	1000	8,27743+1,42976j
R2	2200	5,68002+6,72141j
R3	2200	9,19785+0,19909j
C1	-66,8424j	0,01016+0,04855j
C2	-31,831j	0,00125+0,12999j
Fonte		17,5
Soma das tensões em cada malha		
Malha 1 (Fonte, R1, C1, R2)		31,46761+8,19972j
Malha 2 (R2, R3, C2)		14,87912+7,05049j
Correntes no circuito		
I1		0,00827743+0,00142976j
I2		0,00418084090909091+0,00009049545454545j
I3		0,00409658909090909+0,00133926454545455j

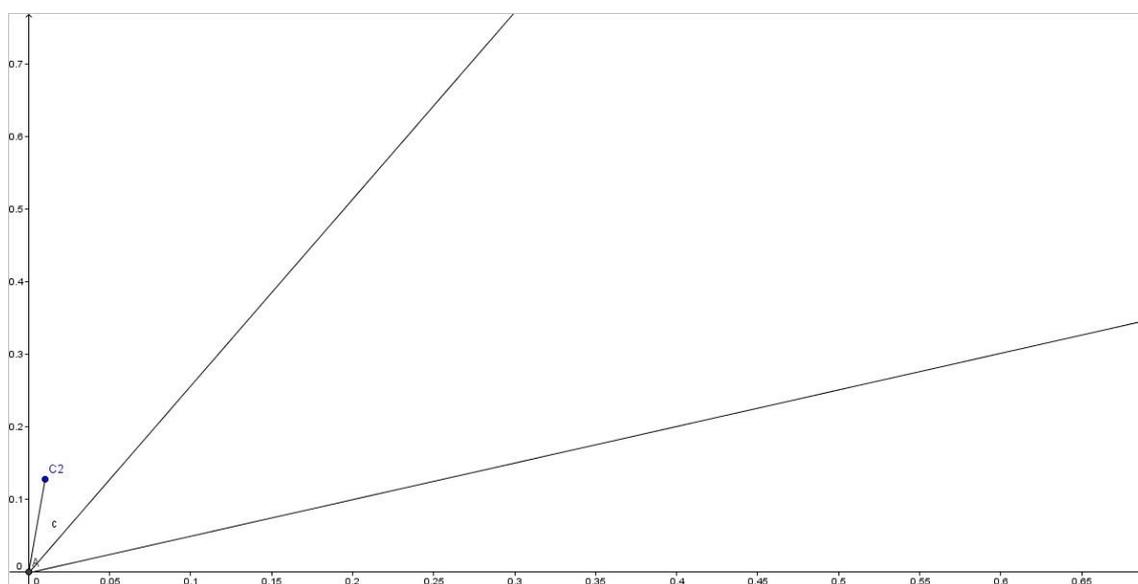
Tabela 10 – Valores obtidos resultantes da análise do circuito

Através destes valores é assim possível chegar aos diagramas fasoriais das tensões nas duas malhas constituintes do circuito.

A figura 24 mostra o diagrama fasorial aproximado das tensões na malha 1 e a figura 25 o diagrama fasorial aproximado das tensões na malha 2. Podem-se encontrar a versões originais no Anexo 12 e Anexo 13.



**Figura 24 - Diagrama fasorial das tensões na malha 1**



**Figura 25 - Diagrama fasorial das tensões na malha 2**

Foi necessário fazer uma aproximação das figuras para que fosse possível ver nitidamente os vectores da tensão nos condensadores, que têm uma componente real muito pequena (comparativamente às resistências). E que, portanto, apresentam uma queda de tensão muito inferior aos componentes resistivos.

### Equivalente de Thévenin

Primariamente procedeu-se ao cálculo das reactâncias, utilizando-se para tal os dados da figura 26:

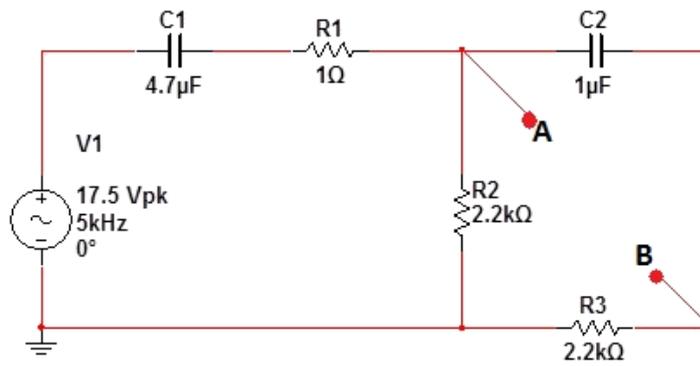


Figura 26 - Circuito representado com os terminais do equivalente de Thévenin

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} j(\Omega)$$

$$X_{c1} = \frac{1}{2\pi * 5000 * 10^{-6} * 4,7 * 10^3} j = - \frac{1000}{47\pi} j(\Omega)$$

$$X_{c2} = \frac{1}{2\pi * 5000 * 10^{-6}} j = - \frac{100}{\pi} j(\Omega)$$

Após o cálculo das reactâncias, aniquilou-se a fonte (figura 27) e associou-se o condensador  $C_1$  e a resistência  $R_1$ , como demonstrado nos cálculos que se seguem.

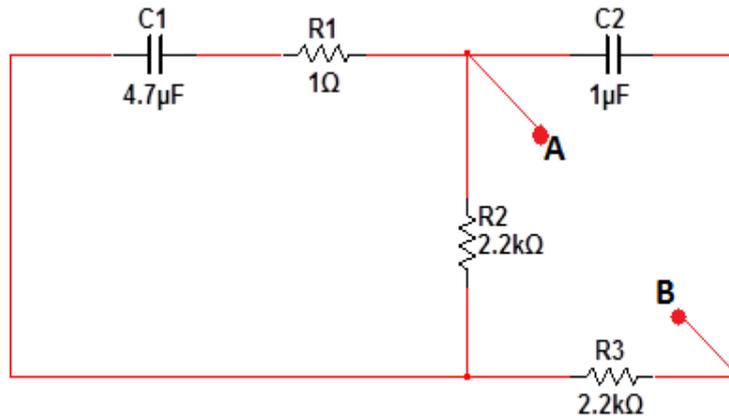


Figura 27 - Associação de  $C_1$  e  $R_1$

De seguida, para calcular  $Z_2$ , foi associada  $Z_1$ , resultante da associação da resistência  $R_1$  com o condensador  $C_1$ , em paralelo com a resistência  $R_2$ . Associação como demonstra a Figura 28.

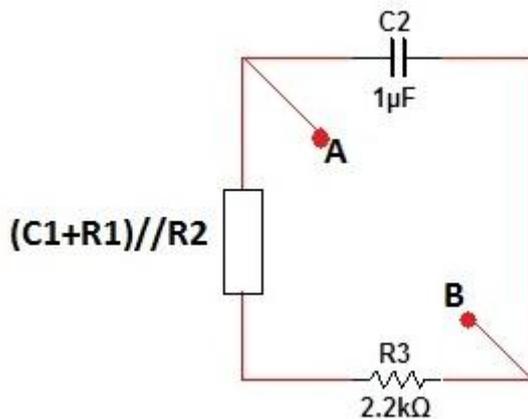


Figura 28 - Associação de  $Z_1$  com  $R_2$

$$Z_1 = R_1 + X_{C1}$$

$$Z_1 = 1000 - \frac{1000}{47\pi}j(\Omega)$$

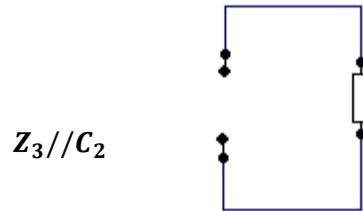
$$Z_2 = Z_1 // R_2 = \frac{1}{\frac{1}{2200} + \frac{1}{1000 - \frac{1000}{47\pi}j}}$$

$$= 687,506774783 - 3,20105388418j(\Omega)$$

Para calcular  $Z_3$ , foi associado  $Z_2$  com a resistência  $R_3$ :

$$\mathbf{Z}_3 = \mathbf{Z}_2 + \mathbf{R}_3 = 2887,50677478 - 3,20105388418 j (\Omega)$$

Seguidamente, foi calculada a impedância de *Thévenin* representada por  $Z_{th}$ .



$$\mathbf{Z}_{TH} = \mathbf{Z}_3 // X_{C2}$$

$$\mathbf{Z}_{TH} = 0,350843555337 - 31,8267387073 j (\Omega)$$

$$|\mathbf{Z}_{TH}| = 31,828672419 (\Omega)$$

### Tensão de Thévenin

Para calcular a tensão de *Thévenin* foi necessário achar a tensão aos terminais *AB*. Para tal, foram calculadas as tensões nos pontos *A* ( $V_A$ ) e *B* ( $V_B$ ), encontrando assim a tensão de *Thévenin* (figura 29).

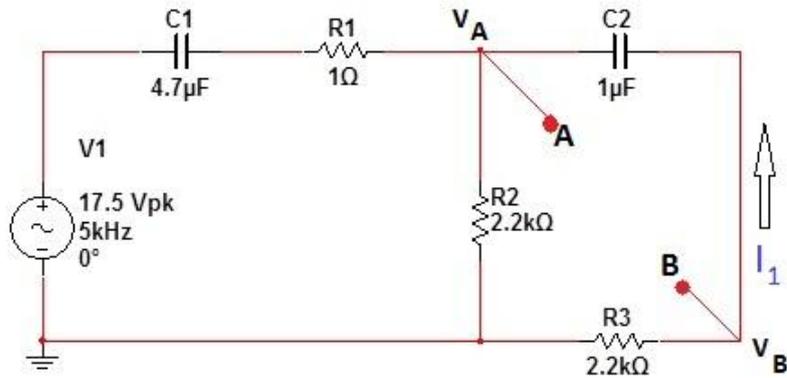


Figura 29 - Circuito representado com os terminais do equivalente de Thévenin

$$I_1 = -\frac{V_A}{Z_2}$$

$$\begin{cases} \frac{17,5 - V_A}{Z_2} = \frac{V_A}{Z_3} + \frac{V_A}{R_3} \\ 17,5 - V_A = \frac{Z_2}{Z_3} V_A + \frac{Z_2}{R_3} V_A \end{cases}$$

$$V_A = 9,16690921025 - 0,002012231535 j \text{ (V)}$$

$$V_B = 9,16501970666 + 0,130593086039 j \text{ (V)}$$

$$V_{TH} = V_A - V_B = 0,001889503591 - 0,132605317574 j \text{ (V)}$$

$$|V_{TH}| = 46,88 \text{ mV}$$

### Comprovação do Teorema de Thévenin

Para se provar o teorema de *Thévenin* foi ligada uma resistência de  $500\Omega$  aos terminais **A** e **B** (figura 30).

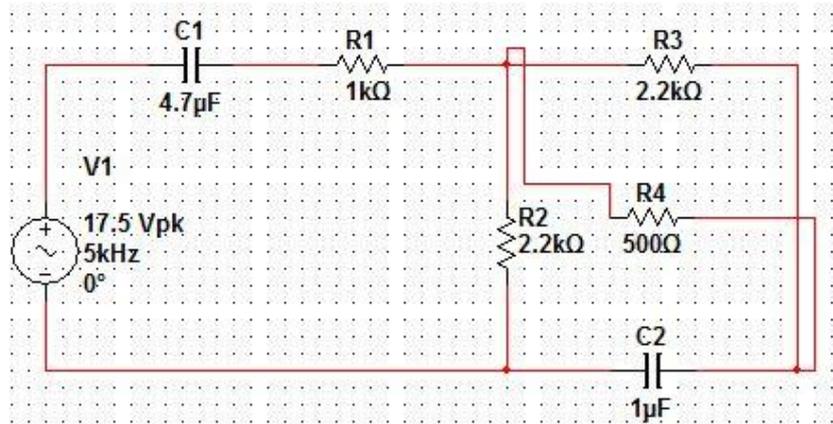


Figura 30 - Circuito com resistência de  $500\Omega$  aos terminais de A e B

Para simplificar o circuito e o sistema de equações, associou-se o condensador  $C_2$  com a resistência de  $500\Omega$  aos terminais de AB.

$$R_{AB} // X_{C2} = \frac{1}{\frac{1}{500} + \frac{1}{\frac{-100}{\pi}}} (\Omega) = 2,018244 - 31,7025 j (\Omega)$$

A partir da análise nodal obteve-se o seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} \frac{V_A - 6,2}{\left(1000 - \frac{1000}{47} j\right)} + \frac{V_A}{2200} + \frac{V_A - V_B}{2,018244 - 31,7025 j} = 0 \\ \frac{V_B}{2200} + \frac{V_B - V_A}{2,018244 - 31,7025 j} = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} V_A = -3,24841260365 + 0,000652431839 j (V) \\ V_B = 3,24477212142 - 0,04606321424 j (V) \end{cases}$$

Depois de se obter o valor de  $V_A$  e  $V_B$ , subtraíram-se as duas tensões para se obter a diferença de potencial  $V_{AB}$ .

$$V_{AB} = -0,00364048223 + 0,046715646079 j (V)$$

$$|V_{AB}| = 46,857 mV$$

De seguida verificou-se se o valor obtido estava de acordo com o valor indicado no *Multisim* (figura 31).

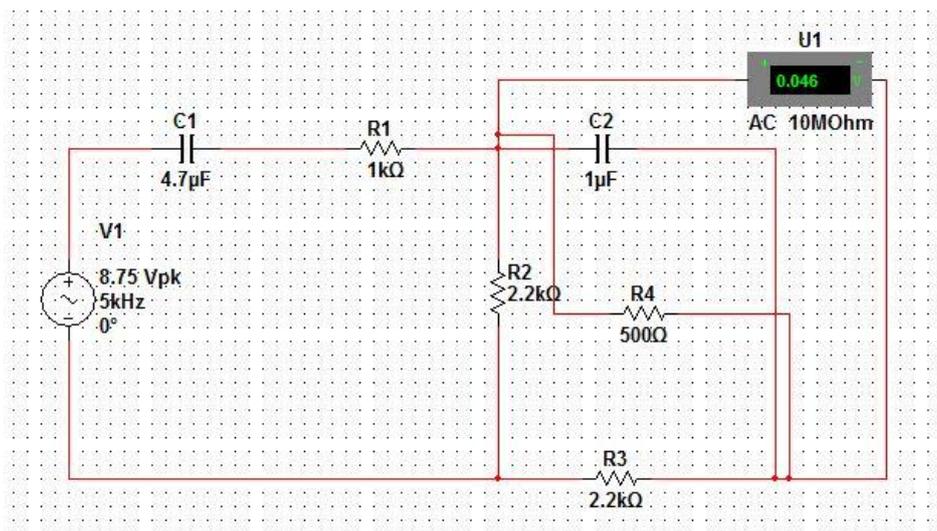


Figura 31 - Valor obtido no *Multisim*

Para verificar que o teorema de Thévenin estava correcto aplicou-se aos terminais AB uma fonte de real de tensão (figura 32). Aplicando o divisor de tensão para saber a tensão aos terminais da resistência de 500Ω, é assim possível “confirmar” este teorema.

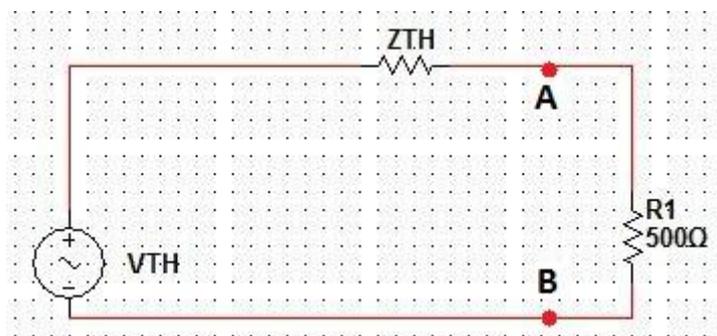


Figura 32 - Aplicação de uma fonte real de tensão aos terminais AB

$$V_{AB} = \frac{500}{500 + Z_{TH}} \times V_{TH} = 0,1027555935 - 0,131858718925 j (V)$$

### **Utilização de uma só fonte**

Relativamente ao que foi pedido sobre se faria ou não sentido ter mais que uma fonte num circuito, pode concluir-se que não se devem ligar duas fontes ao mesmo circuito. Isto devido a que, no laboratório, não se consegue ter as fontes na mesma exacta frequência e na mesma fase. Ou seja, o circuito estaria sujeito a uma onda que não é uma sinusóide.

## Conclusão – Trabalho II

No trabalho efectuado no segundo período, foi estudado o comportamento do regime sinusoidal estacionário, em circuitos RC.

Apesar de ter sido efectuado o mapa de *Gantt*, houve dificuldades que levaram ao incumprimento do mesmo. O facto de ter de reorganizar o circuito mais que uma vez, e ter havido algumas dificuldades na realização dos cálculos, levou a que por exemplo, não tenha sido entregue o pré-relatório.

No estudo efectuado, foi verificado que o desfasamento da tensão aos terminais do condensador em relação da tensão da fonte dos componentes utilizados corresponde a valores próximos dos  $90^\circ$ .

Usando valores imaginários, foi necessário utilizar mais casas decimais, pois não proceder a este procedimento levaria a erros de arredondamentos e comprometeria o resultado final.

Foi demonstrado mais tarde o Teorema de *Thévenin*. Inicialmente foi calculada a resistência e tensão de Thévenin do circuito. Depois foi colocada uma resistência (com o grupo a utilizar uma resistência de valor  $500\Omega$ , mas podia ter outro qualquer valor) ligada ao circuito previamente feito, determinando a sua tensão. E assim foi demonstrado o teorema de *Thévenin*, embora os valores verificados não são exactamente iguais. Isto pode dever-se a aproximações de cálculos ou mesmo a algum erro de cálculo. No entanto, toda a resolução está correcta.

Finalmente ficou apurada a impossibilidade de serem ligadas duas fontes num sistema sinusoidal.

# Trabalho III

- Circuito integrador -

## Descrição do problema

Para a realização do terceiro trabalho pretende-se projectar um circuito com um condensador e uma resistência ligados a um gerador de sinais de modo a estudar o comportamento de um circuito integrador.

Para tal, deve ser utilizado o gerador de sinais para gerar uma onda quadrada adequada ao circuito. No entanto, em casos particulares dever-se-á utilizar onda sinusoidal. Com auxílio do osciloscópio, deverá ser medida a constante de tempo, a frequência de corte e o  $\tau$ .

No intuito de estudar o circuito e analisar o seu comportamento a frequências variadas, foi sugerida a elaboração de um diagrama de Bode. Os seus resultados deverão fornecer informação sobre o ganho de tensão bem como sobre a frequência de corte.

As medições efectuadas devem ser comprovadas com cálculos teóricos e simulações em *software*.

Ao grupo é pedido por fim algumas a comprovação e debate sobre algumas suposições teóricas. Nesse sentido, são debatidas neste relatório, o que é um filtro passa baixo, como retirar uma componente DC, qual o comportamento do circuito com a alteração de alguns componentes e picos de corrente.

## Circuito integrador

Tal como descrito anteriormente, o objectivo principal é projectar um circuito com um condensador, uma resistência e um gerador de sinais, com uma onda quadrada, com características que permitam criar um circuito integrador, o que significa que nos terminais de saída veremos uma onda que é resultado do integral da onda de entrada e, portanto o objectivo é conseguir observar uma onda triangular nos terminais de saída.



Figura 33 – Circuito estudado

Dado o enunciado, chegou-se à conclusão que o circuito desejado seria um circuito RC série, tal como ilustra a figura 33.

Utilizando uma frequência bastante elevada, de modo a que o condensador não tenha tempo para carregar/descarregar totalmente, obtém-se uma função triangular em  $V_{out}$ .

A figura seguinte mostra as duas ondas  $V_{in}$  e  $V_{out}$ . Tal como se pode observar  $V_{out}$  é uma onda triangular; aumentando a frequência de  $V_{in}$  poder-se-á obter uma onda triangular mais linear, porém com menor amplitude.

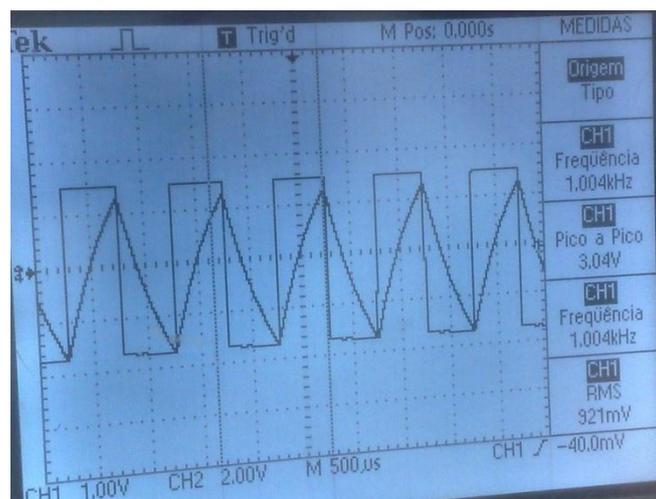


Figura 34 – Visualização das onda  $V_{in}$  e  $V_{out}$  no osciloscópio

## Diagrama de Bode

O diagrama de Bode é uma ferramenta que permite a avaliação do ganho tensão num determinado circuito, em função da frequência utilizada. Faz um balanço entre a tensão de entrada e a tensão de saída. O ganho do circuito pode ser avaliado tanto em módulo como em fase. A onda utilizada para a realização deste estudo foi a sinusoidal.

O ganho em módulo pode ser representado no gráfico com valores adimensionais ou em decibéis. Este ganho mostra a diferença entre a tensão de entrada e a tensão de saída.

O ganho representado em fase mostra o ângulo do desfasamento da tensão de entrada versus a tensão de saída, em função das várias frequências.

Com ajuda do simulador e através da ferramenta *Bode Plotter* foi possível visualizar o gráfico do ganho de tensão em módulo e em fase. Para realizar o gráfico é necessário identificar a tensão de entrada e de saída. Assim, foi lida a tensão de entrada aos terminais do gerador de sinais, identificada como  $V_{in}$ , e lida a tensão de saída aos terminais do condensador, identificada como  $V_{out}$ . Tudo o que está acima descrito pode ser visualizado na figura 35.

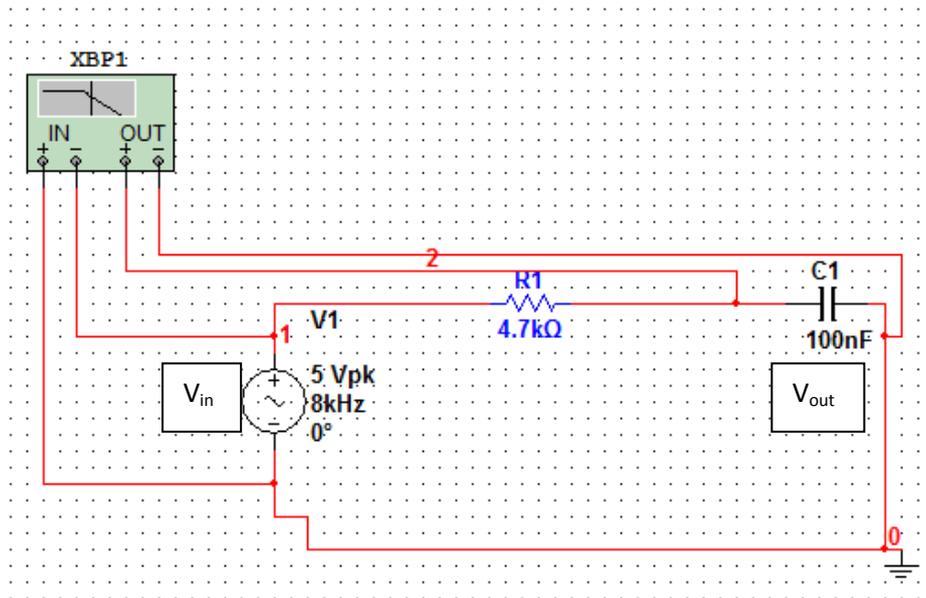


Figura 35 - Utilização da ferramenta *Bode Plotter*

Este circuito foi submetido a várias frequências de modo a poder calcular o ganho de tensão. Esse cálculo é feito a partir da expressão:

$$A_{dB} = 20 \times \log (A_u)$$

onde  $A_u$  representa a razão entre a tensão de entrada e a tensão de saída. A tensão de entrada é igual à tensão fornecida pelo gerador de sinais, a qual se mantém fixa. De modo a obter a tensão de saída, com o auxílio do osciloscópio, leram-se aos terminais do condensador o valor de tensão (figura 36). O segundo canal do osciloscópio foi ligado ao terminal positivo do gerador de sinais, de modo a verificar o desfasamento, como é visível na figura abaixo.

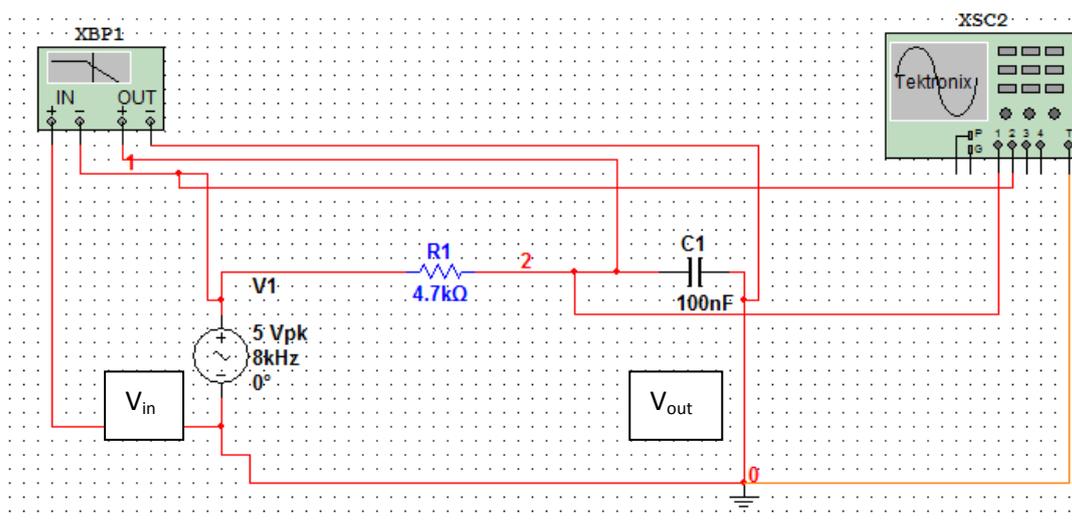


Figura 36 - Circuito estudado ligado ao osciloscópio

Lidos todos os valores, foi possível executar os cálculos necessários. A tabela 10 mostra o valor do ganho em módulo e o ângulo do desfasamento obtido com o simulador. Todos os ângulos são negativos, pois o grupo teve como referencia o valor de  $V_{out}$ , ou seja, a tensão de saída. A tensão de saída obtida tanto no simulador como na prática é um valor pico a pico.

Freq (kHz)	Vin (V)	Vout (V)	Au	Adb	Desfasamento	Período	Ângulo
0,0002	5	10	0,5	-6,0206	0,000475	5	-0,0342
0,001	5	10	0,5	-6,0206	0,000475	1	-0,171
0,01	5	10	0,5	-6,0206	0,0004	0,1	-1,44
0,02	5	9,98	0,501002004	-6,003211	0,000467	0,05	-3,3624
0,03	5	9,96	0,502008032	-5,985787	0,000459	0,033333333	-4,9572
0,04	5	9,93	0,503524673	-5,959585	0,000468	0,025	-6,7392
0,05	5	9,89	0,505561173	-5,92453	0,000459	0,02	-8,262
0,06	5	9,85	0,507614213	-5,88932	0,000456	0,016666667	-9,8496
0,07	5	9,79	0,51072523	-5,83625	0,000455	0,014285714	-11,466
0,08	5	9,73	0,513874615	-5,78286	0,000466	0,0125	-13,4208
0,09	5	9,66	0,517598344	-5,72014	0,000456	0,011111111	-14,7744
0,10	5	9,59	0,521376434	-5,65697	0,00045	0,01	-16,2
0,20	5	8,61	0,580720093	-4,72066	0,00041	0,005	-29,52
0,30	5	7,48	0,668449198	-3,49863	0,000405	0,003333333	-43,74
0,40	5	6,46	0,773993808	-2,22525	0,00034	0,0025	-48,96
0,50	5	5,61	0,891265597	-0,99986	0,000308	0,002	-55,44
0,60	5	4,91	1,018329939	0,15777	0,000286	0,001666667	-61,776
0,70	5	4,35	1,149425287	1,20961	0,000256	0,001428571	-64,512
0,80	5	3,9	1,282051282	2,15811	0,00022	0,00125	-63,36
0,90	5	3,52	1,420454545	3,04855	0,000214	0,001111111	-69,336
1	5	3,21	1,557632399	3,84930	0,000198	0,001	-71,28
2	5	1,67	2,994011976	9,52507	0,000108	0,0005	-77,76
3	5	1,12	4,464285714	12,99504	0,0000772	0,000333333	-83,376
4	5	0,837	5,973715651	15,52489	0,0000569	0,00025	-81,936
5	5	0,668	7,48502994	17,48387	0,0000488	0,0002	-87,84
6	5	0,556	8,992805755	19,07790	0,0000394	0,000166667	-85,104
7	5	0,476	10,50420168	20,42726	0,0000357	0,000142857	-89,964
8	5	0,414	12,07729469	21,63939	0,0000309	0,000125	-88,992
9	5	0,371	13,47708895	22,59192	0,000027	0,000111111	-87,48
10	5	0,333	15,01501502	23,53052	0,0000246	0,0001	-88,56

Tabela 11 – Valores obtidos no simulador

Concluídos os trabalhos no simulador, foi feito o mesmo procedimento na prática de forma a poder fazer uma comparação entre os resultados obtidos no simulador e na prática. A tabela 11 mostra os resultados na prática.

Freq (kHz)	Vin (V)	Vout (V)	Au	Adb	Desfasamento	Período	Ângulo
0,0002	5	8,32	0,60096	-4,42307	0,01	5	-0,72
0,001	5	8,32	0,60096	-4,42307	0,01	1	-3,6
0,01	5	8,32	0,60096	-4,42307	0,01	0,1	-36
0,02	5	9,7	0,51546	-5,75603	0,0028	0,05	-20,16
0,03	5	9,68	0,51653	-5,73811	0,00092	0,033333333	-9,936
0,04	5	9,8	0,5102	-5,84512	0,0003	0,025	-4,32
0,05	5	9,84	0,50813	-5,88050	0,00007	0,02	-1,26
0,06	5	9,78	0,51125	-5,82738	0,00006	0,016666667	-1,296
0,07	5	9,76	0,5123	-5,80960	0,000116	0,014285714	-2,9232
0,08	5	9,7	0,51546	-5,75603	0,00018	0,0125	-5,184
0,09	5	10,2	0,4902	-6,19260	0,00026	0,011111111	-8,424
0,10	5	9,6	0,52083	-5,66602	0,00032	0,01	-11,52
0,20	5	8,5	0,58824	-4,60898	0,0004	0,005	-28,8
0,30	5	7,4	0,67568	-3,40523	0,00037	0,003333333	-39,96
0,40	5	6,4	0,78125	-2,14420	0,00034	0,0025	-48,96
0,50	5	5,6	0,89286	-0,98436	0,00031	0,002	-55,8
0,60	5	4,88	1,02459	0,21100	0,000276	0,001666667	-59,616
0,70	5	4,28	1,16822	1,35052	0,000248	0,001428571	-62,496
0,80	5	3,84	1,30208	2,29278	0,000232	0,00125	-66,816
0,90	5	3,42	1,46199	3,29888	0,000212	0,001111111	-68,688
1	5	3,12	1,60256	4,09631	0,000196	0,001	-70,56
2	5	1,68	2,97619	9,47321	0,00011	0,0005	-79,2
3	5	1,2	4,16667	12,39578	0,000076	0,000333333	-82,08
4	5	1,04	4,80769	13,63873	0,000058	0,00025	-83,52
5	5	0,9	5,55556	14,89455	0,000046	0,0002	-82,8
6	5	0,6	8,33333	18,41638	0,000037	0,000166667	-79,92
7	5	0,68	7,35294	17,32922	0,0000332	0,000142857	-83,664
8	5	0,52	9,61538	19,65933	0,000028	0,000125	-80,64
9	5	0,5	10	20,00000	0,0000256	0,000111111	-82,944
10	5	0,42	11,9048	21,51441	0,0000232	0,0001	-83,52

Tabela 12 – Valores obtidos na prática

A partir dos valores obtidos para as diferentes frequências, foi possível realizar o diagrama de Bode e comparar com os obtidos no *Bode Plotter*, como é visível nos diagramas abaixo representados.

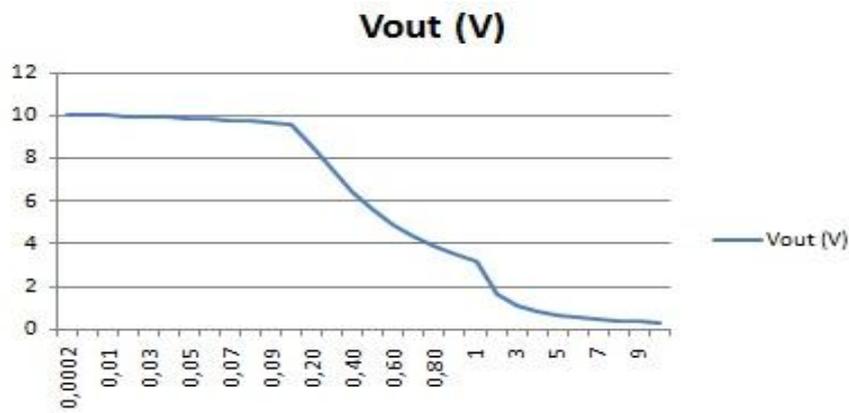


Figura 37 - Ganho de tensão em módulo no simulador

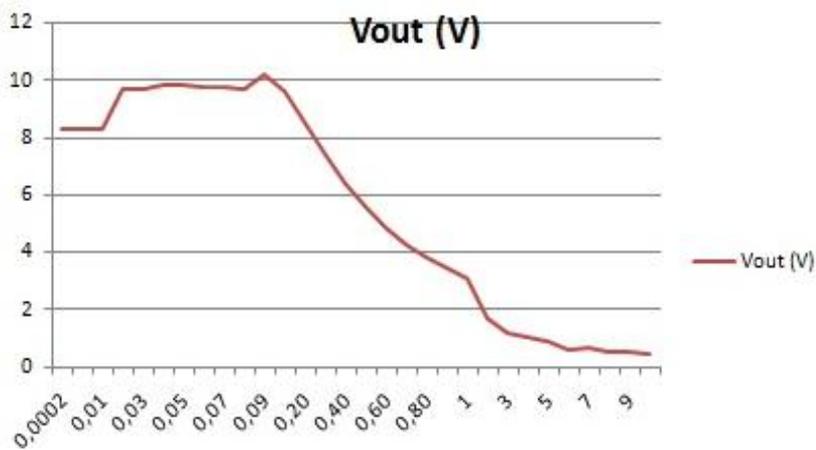


Figura 38 - Ganho de tensão em módulo na prática

Nas figuras 37 e 38, acima representadas, pode-se visualizar o ganho de tensão em módulo. É possível confirmar as semelhanças nos dois diagramas.

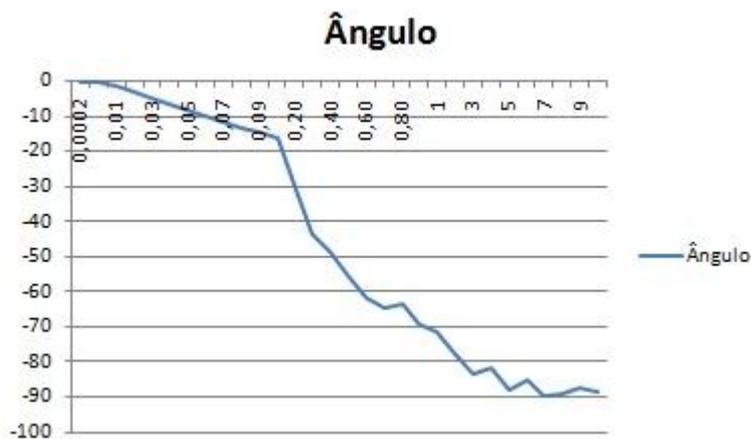


Figura 39 - Ângulo do desfasamento obtido no simulador

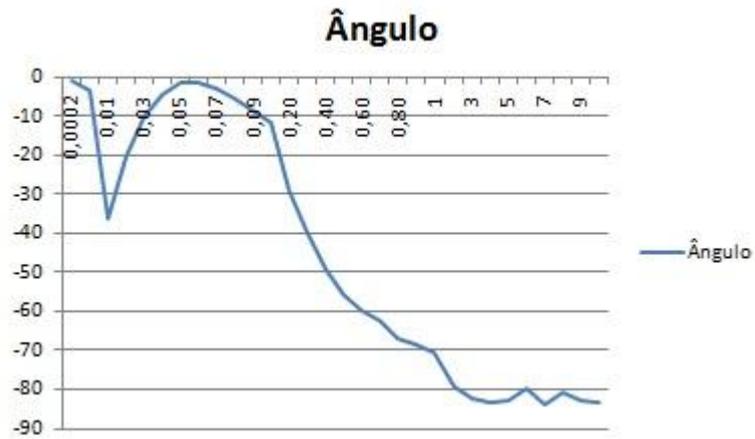


Figura 40 - Ângulo do desfasamento obtido na prática

Os diagramas expostos nas figuras 39 e 40 demonstram que o desfasamento é, como foi já visto no ganho em módulo, similar entre simulador e efectuado na prática.

Estes resultados permitem concluir qual é o ganho de tensão, bem como comprovar a frequência de corte.

## Filtro passa baixo e frequência de corte

O circuito implementado é um filtro passa baixo pois é composto por uma resistência e um condensador em série, tal como na figura 41. Aos terminais de saída, este filtro, apenas deixa passar frequências baixas, atenuando frequências com valores superiores. A frequência a partir da qual se evidencia este fenómeno é chamada de frequência de corte.

Fisicamente, este fenómeno deve-se ao facto de, para uma frequência muito elevada, o condensador se comportar como um curto-circuito, tal como abordado no 2º período a reactância capacitiva é inversamente proporcional à frequência aplicada.

Nessa frequência de corte, ocorre uma redução de potência aos terminais de saída para cerca de metade, equivalente a um ganho de -3 decibéis (dB). Utilizando a seguinte expressão:  $Ganho(dB) = 20 \log_{10} \frac{V_{out}}{V_{in}}$  chega-se à conclusão de que para haver um ganho de -3dB a relação  $\frac{V_{out}}{V_{in}}$  será igual a  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ , ou seja  $V_{out}$  será 70,7% menor que  $V_{in}$ , para a frequência de corte.

Quando aplicada esta frequência (de corte) ao circuito, consegue-se ainda observar um desfasamento entre a onda de entrada e a onda de saída de  $-45^\circ$ .

A frequência de corte está portanto dependente das características do circuito, nos circuitos RC série, tipo de circuito utilizado neste projecto. Esta pode ser calculada através da expressão:  $f_c = \frac{1}{2\pi.R.C}$ .

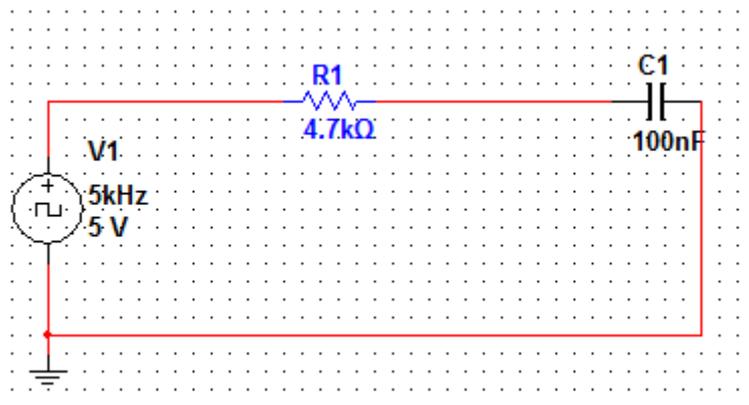


Figura 41 - Circuito estudado

Os valores dos componentes foram escolhidos para que o gerador de sinais conseguisse manter uma tensão linear, ou seja, que não se exigisse muita corrente do gerador. E também de acordo com o material disponível em armazém.

Aplicando a expressão ao circuito desenvolvido (figura 41) obtém-se a seguinte expressão:

$$f_c = \frac{1}{2\pi * 4700 * 100 * 10^{-9}} \approx 338.628Hz$$

Na prática esta frequência pode ser determinada por aproximação e por tentativas, sabendo que a tensão aos terminais de saída é 70,7% inferior à tensão de entrada.

Para que seja possível visualizar correctamente a diferença de tensões (entrada-saída) é necessário utilizar uma onda de entrada sinusoidal.

As figuras seguintes mostram o comportamento do circuito para diferentes frequências.

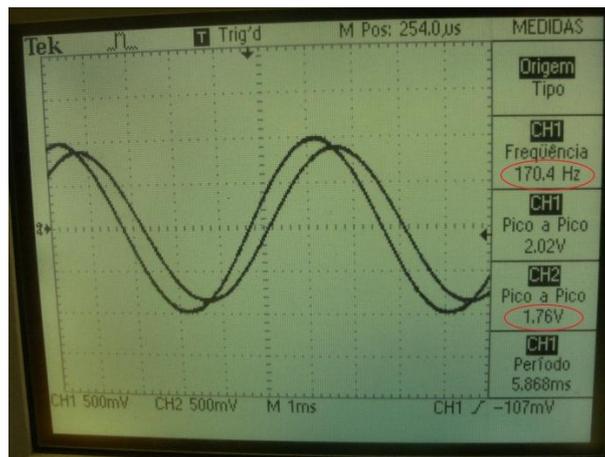


Figura 42 - Comportamento do circuito para uma frequência de 170,4 Hz

Como mostra a figura 42, para uma frequência de aproximadamente 170Hz, a tensão de saída (CH2) é equivalente a 87.12% da tensão de entrada (CH1). Portanto esta frequência é uma má aproximação para a frequência de corte.

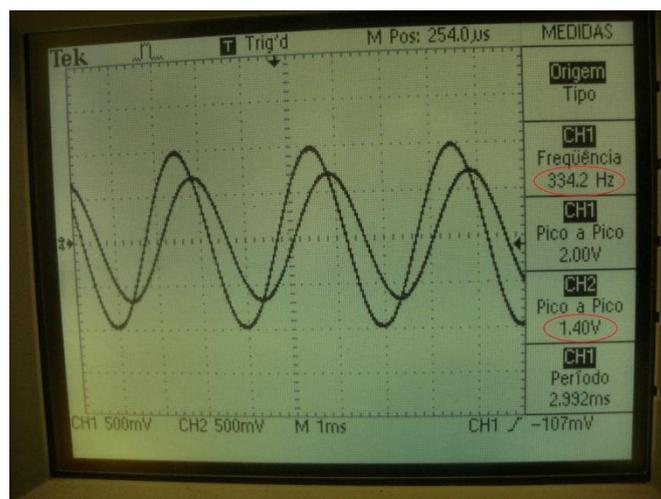


Figura 43 - Comportamento do circuito para uma frequência de 334,2 Hz

Na figura 43 a tensão de saída é equivalente a 70% da tensão de entrada, portanto a frequência de 334,2 Hz é uma boa aproximação para a frequência de corte do circuito. Tal como foi referido anteriormente, além de a tensão reduzir para 70% da tensão de entrada, o desfasamento entre as duas ondas é de  $-45^\circ$ .

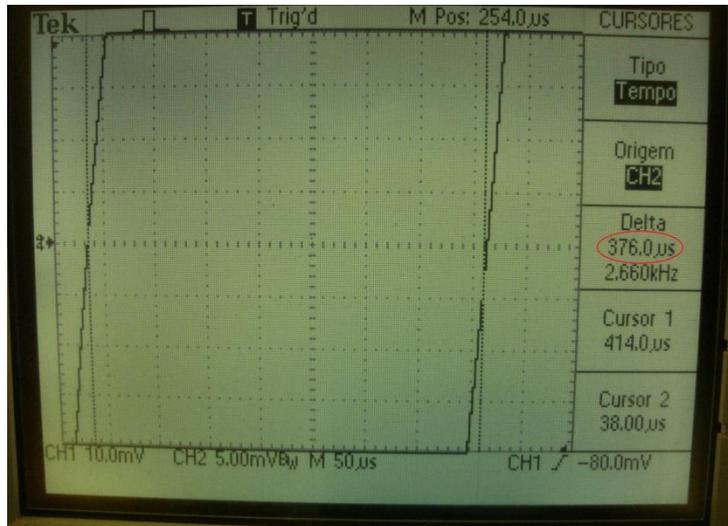


Figura 44 - Desfasamento entre ondas para uma frequência de 334.2 Hz

Como mostra a figura 44, o desfasamento entre as duas ondas é de  $376\mu\text{s}$ , como a frequência é de  $334.2\text{Hz}$  e, conseqüentemente, o período é de aproximadamente  $3\text{ms}$ , pode-se calcular o desfasamento em graus a partir da seguinte relação:

$$\frac{\text{seg}}{\text{graus}} = \frac{3 * 10^{-3}}{360} = \frac{376 * 10^{-6}}{x}$$

De onde se conclui que o desfasamento entre as duas ondas é de, aproximadamente,  $-45,12^\circ$ . Comprovando assim os valores para a frequência de corte.

A figura seguinte mostra o decaimento da tensão para uma frequência 2 vezes superior à frequência de corte. Como se pode constatar, existe uma redução muito acentuada. No diagrama de *Bode* pode-se ver o comportamento da tensão de saída para múltiplas frequências.

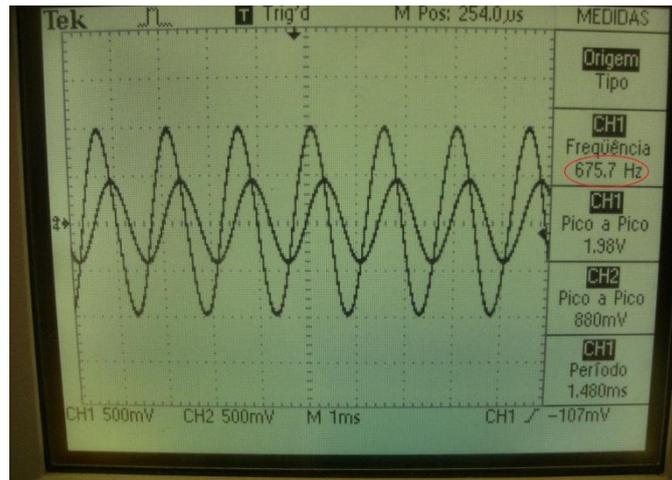


Figura 45 - Redução da tensão para uma frequência de 675.2 Hz

Método	Frequência (Hz)	Tensão (V)			Desfasamento (°)
		$V_{in}$	$V_{out}$	%	
Teórico	338.628	2	1.414	70.7	-45
Prático	334.2	2	1.4	70	-45.12

Tabela 13 – Frequência de corte visto teoricamente e na pratica

Como se pode constatar existe uma grande proximidade entre os valores teóricos e os valores práticos, o que confirma uma frequência de corte real perto dos 334Hz. Cometeram-se erros de truncatura no cálculo da frequência de corte teórica e erros de arredondamento na prática e de notar também que na prática os componentes não são ideais, estando-lhe associados erros.

## Constante de tempo do circuito

A constante de tempo, denominada pela letra grega  $\tau$  (tau) e é uma medida de rapidez de carga/descarga. Nos circuitos RC série, como é o caso do circuito em estudo, a constante de tempo é calculada através do produto dos valores dos componentes, ou seja,  $\tau = R.C$  e representa o tempo que o condensador demora a perder 63% da sua carga, ou a carregar 37%.

Isto porque a tensão aos terminais do condensador é dada pela expressão:  $v_c = V_s.(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$  em que  $t$  é o instante em que se pretende calcular a tensão e  $\tau$  é a constante de tempo do circuito. Portanto quando  $t$  é igual a  $\tau$   $v_c = V_s.(1 - e^{-1}) = V_s * 0,63$ .

No circuito implementado a expressão para o cálculo da constante de tempo é a seguinte:

$$\tau = R.C = 4700 * 100 * 10^{-9} \approx 470\mu s$$

Para determinar a constante de tempo na prática é necessário utilizar uma frequência para que haja a completa carga e descarga do condensador e aplicar uma onda quadrada para se poder observar sucessivas cargas e descargas do condensador.

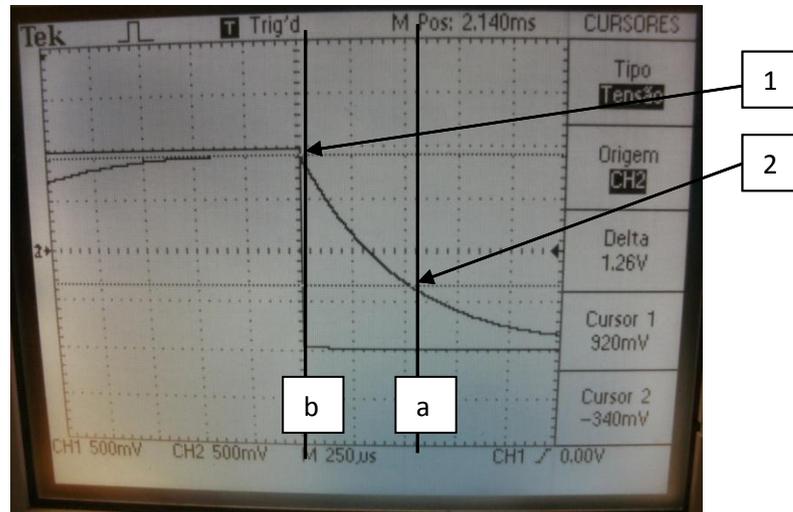


Figura 46 - Visualização da variação da tensão cálculo do tau

Foi aplicada uma onda quadrada com amplitude de 2V ao circuito e, como se pode ver na figura 46, no ponto 1 o condensador está completamente carregado, momento em que começa a descarregar.

Tal como foi referido anteriormente, a constante de tempo é o tempo que o condensador demora a perder 63% da sua carga inicial. Sendo que 63% de 2V é 1.26V encontrou-se um ponto em que a diferença entre a carga total e a carga no momento fosse de 1.26V (ponto 2), equivalendo então a diferença de tempo desse ponto ao ponto em que o condensador começa a descarregar (a – b) a um **tau**, ou seja, aproximadamente 480 $\mu$ s.

## Variação das componentes

Ao circuito anterior foi alterado o valor da resistência de  $4,7k\Omega$ , para  $100\Omega$  e o valor do condensador de  $100nF$ , para  $1\mu F$ . Desta forma o valor da frequência de corte e da constante de tempo vai alterar-se. O circuito alterado está apresentado na figura 47.

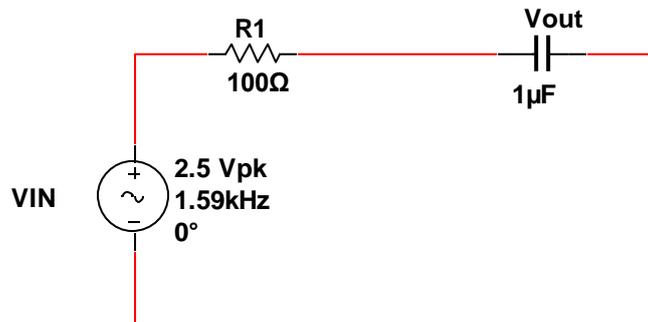


Figura 47 - Circuito alterado

### Cálculos teóricos com o novo circuito

- Cálculo do Tau (constante de tempo):

$$\tau = RC = 100 \times 10^{-6} = 100\mu s$$

- Cálculo da frequência de corte:

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi 100 \cdot 10^{-6}} = 1,59KHz$$

## Medições feitas no simulador (*Multisim*)

### Medição do Tau

O valor do Tau é obtido a partir da diferença de potencial entre o ponto em que o condensador está carregado e o ponto em que o condensador está com apenas 36,8% da tensão, ou seja, ficamos com o valor de 63,2% dos 5V.

$$100 - 36,8 = 63,2\%$$

Ou seja o valor de tensão que corresponde a esse intervalo de tempo é 3,16V, como é demonstrado nos cálculos a baixo.

$$100\% \rightarrow 5$$

$$63,2\% \rightarrow x$$

O que dar o valor de:

$$x = 3,16V$$

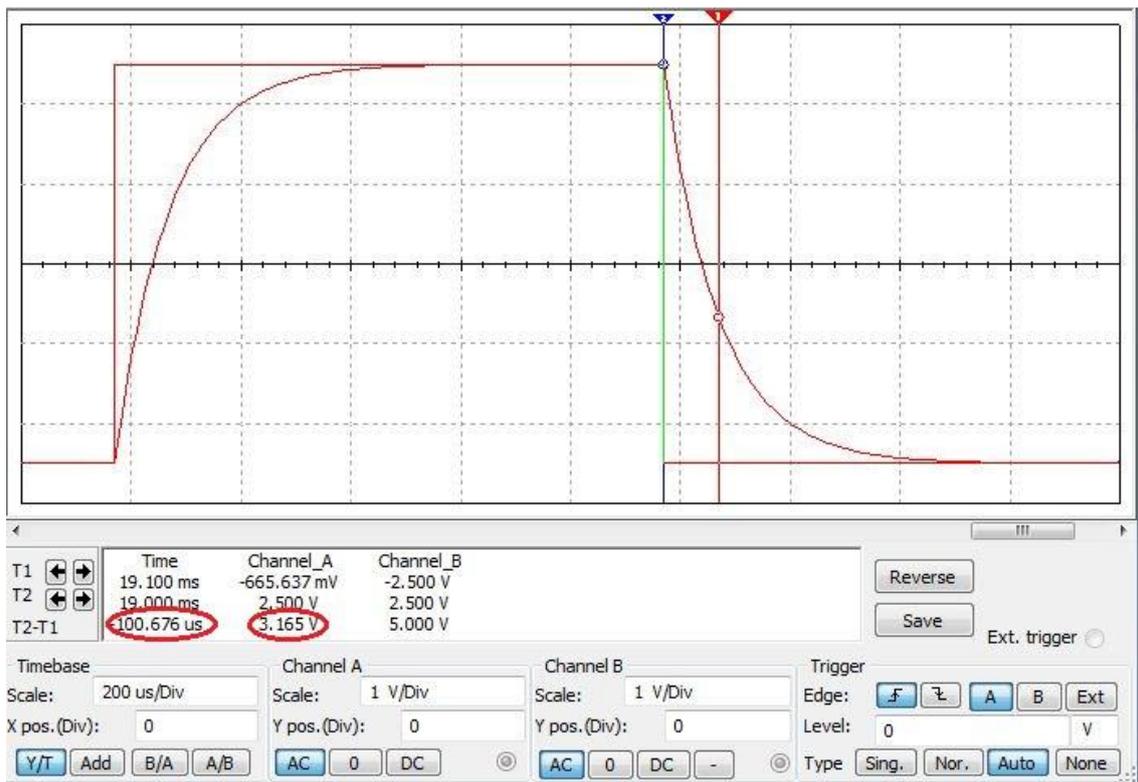


Figura 48 - Valor do Tau obtido a partir dos 63,2% dos 5V

- **Comparação entre os valores calculados teoricamente e os medidos no simulador.**

Os valores do Tau entre os cálculos teóricos e medição no simulador correspondem.

<b>Na teórica</b>	<b>No Simulador</b>
<b>100µs</b>	<b>100,676µs *</b>

Tabela 14 - Valor do Tau teórico e prático

Como se pode ver na tabela anterior os valores calculados teoricamente correspondem aos valores medidos no simulador.

**\*Nota:** Não foi possível ser preciso a ordem das milésimas como podem verificar na figura de cima o valor da tensão esta 0,005V superior a certo, o que consequentemente nos vai dar uma pequena variação no Tau.

### Medição da frequência de corte

Para que seja possível visualizar correctamente a diferença de tensões (entrada-saída) é necessário utilizar uma onda de entrada sinusoidal.

Tal como foi referido anteriormente, para medir a frequência de corte a tensão de saída reduz para 70% da tensão de entrada e o desfasamento entre as duas ondas é de 45°. A tabela abaixo representada mostra o valor da tensão de saída para várias frequências:

Frequências	Tensão de saída	Percentagem de tensão de saída em relação a tensão de entrada
500Hz	4,765V	95,3%
<b>1,6KHz</b>	3,512V	<b>70,24%</b>
3kHz	2,334V	40,68%

Tabela 15 - Tensão de saída para diferentes frequências

Como se pode verificar na tabela anterior como também na figura 49, a frequência de corte é de 1,6kHz aproximadamente, pois é a esta frequência que a tensão de saída é reduzida para 70,24% da tensão de entrada.

### Cálculo para a percentagem de tensão de saída em relação a tensão de entrada

Para a frequência de 1,6kHz:

$$\begin{aligned}
 100 &\longrightarrow 5 \\
 x &\longrightarrow 3,512 \\
 x &= \mathbf{70,24\%}
 \end{aligned}$$

Nota: Os outros valores de percentagem foram encontrados todos desta forma apenas trocando o valor de 3,512 pelo valor de tensão de saída respectivo

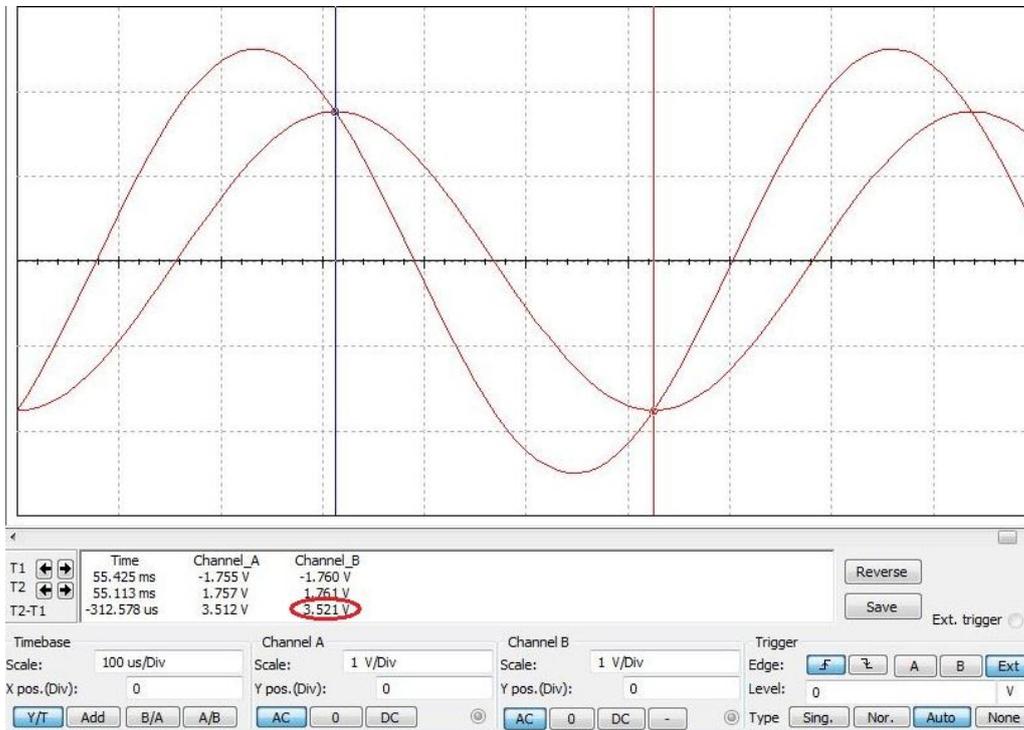


Figura 49 - Tensão de saída para a frequência de 1,6 kHz

### Verificação do desfasamento entre a tensão de entrada e de saída

Para calcular o desfasamento entre a tensão de entrada e a tensão de saída foi necessário visualizar as duas ondas (figura 50).

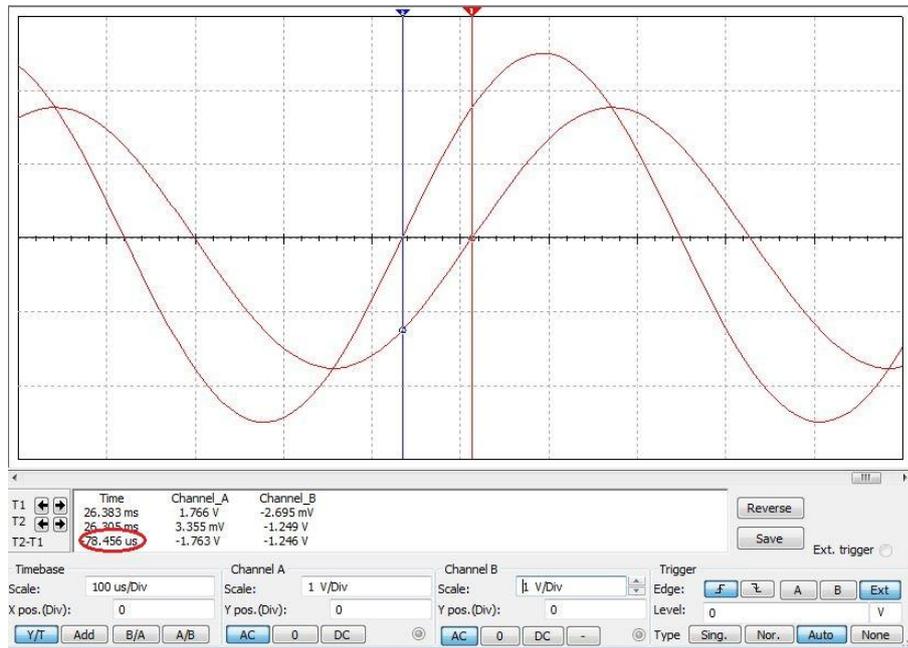


Figura 50 - Desfasamento entre a tensão de entrada e de saída

Para determinar o desfasamento entre as duas ondas foi efectuada a seguinte relação:

$$360^\circ \rightarrow 1/(1,6 \times 10^3)$$

$$x \rightarrow 78,456 \times 10^{-6}$$

$$x = 45,19^\circ$$

Desta forma foi verificada a frequência de corte de **1,6kHz**

### Comparação entre a frequência de corte calculado teoricamente e valor medido pelo simulador

Valor calculado	Valor medido pelo simulador
<b>1,59kHz</b>	<b>1,6kHz</b>

Tabela 16 - Frequência de corte calculada teoricamente e medida no simulador

Como se pode ver na tabela anterior os valores calculados teoricamente correspondem aos valores medidos no simulador.

## Análise da corrente no circuito RC

Durante o estudo do circuito foram detectados picos de corrente. Este aparecimento motivou por parte do professor orientador a colocação de outra pergunta teórica de modo explicar esse seu comportamento.

Como é enunciado pela lei das malhas, a soma de todas as tensões numa malha tem de ser iguais a 0. O sentido das tensões pode ser visualizado na figura abaixo representada.

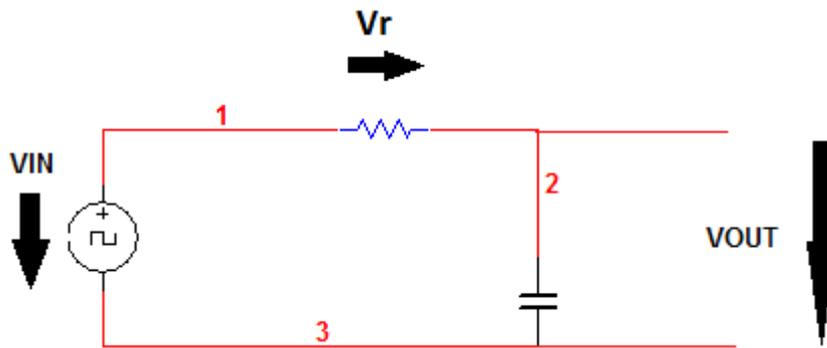
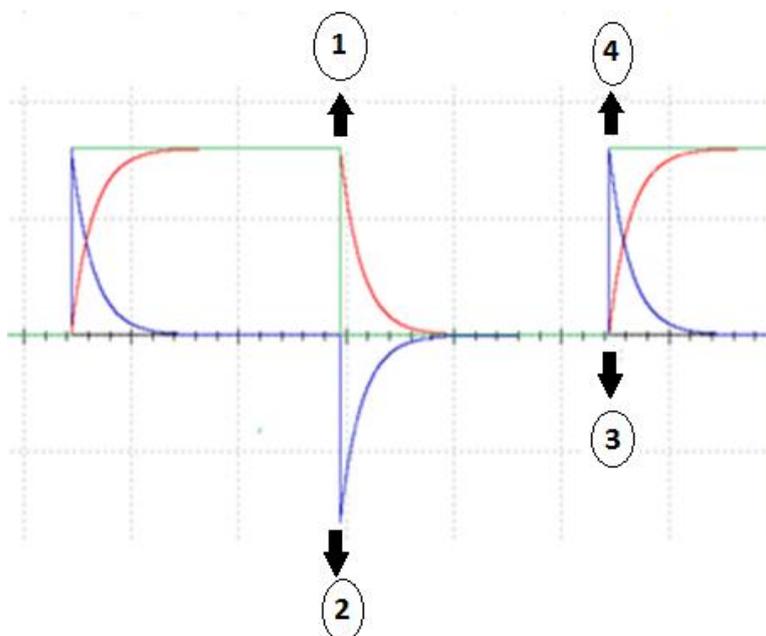


Figura 51 - Representação das tensões no circuito

Assim, visto o gráfico no osciloscópio, no ponto 1 da figura 52 é visível uma tensão de 5 volt no gerador de sinais a tensão de saída (terminais do condensador) com o mesmo valor. Indica desta forma uma tensão de 0 volt na resistência. No instante a seguir (ponto 2 na figura 52), como o valor da tensão no condensador não varia instantaneamente, o valor do condensador mantém-se nos 5 volt. Contudo o valor do gerador de sinais diminui para 0, sendo que a resistência passa a ter um valor de tensão de  $-5$  volt (a tensão na resistência é negativa tendo em conta a lei das malhas). No instante em que a tensão no condensador é 0 (ponto 3 na figura 52), a tensão no gerador de sinais é 5 volt aos seus terminais, bem como na resistência. No



instante a seguir (ponto 4 na figura 52), continua a ser impossível variar instantaneamente o valor do condensador, pelo que a sua tensão se mantém a 0. Assim, para que se mantenha o equilíbrio, surge um pico de corrente.

Figura 52 - Variação de todas as tensões no circuito

## Componente DC de um circuito

Ao visualizar no osciloscópio a onda presente no circuito, foi detectada uma componente DC. Uma vez detectada esta componente, foi proposto ao grupo, perceber e explicar como eliminar essa componente.

A componente DC é gerada quando a frequência num circuito de onda alternada é 0.

Como o circuito em estudo é um filtro passa baixa, ou seja, permite o aparecimento de frequências de valores próximos de 0, aparece aquando da medição da tensão, a componente DC o que faz descentrar o gráfico.

Uma das maneiras de resolver esta situação seria colocar um condensador, em série com o circuito utilizado. Ao ser colocado o osciloscópio entre o condensador e a massa, estabelecesse-se com a resistência interna do osciloscópio um filtro de passa alto. A disposição dos componentes é visível na figura 51.

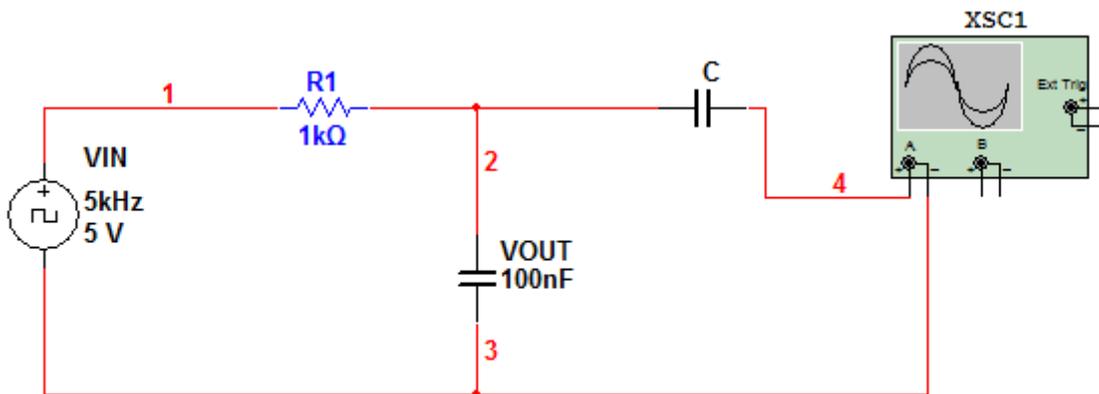


Figura 53 - Disposição de componentes para a eliminação da componente DC

## Conclusão – Trabalho III

No 3º período foi estudado por parte do grupo de trabalho, um circuito integrador. Para isso, foi necessário o cálculo de parâmetros como é caso do Tau e da frequência de corte. O Tau representa a diferença de potencial entre o ponto em que o condensador está carregado e o ponto em que tem apenas 36,8% da tensão. Para o cálculo da frequência de corte, foi necessário reduzir a tensão de saída, estabelecida previamente como sendo a tensão nos terminais do condensador, 70,7% do seu valor.

O estudo destes parâmetros levou à colocação de alguns desafios teóricos por parte do professor orientador. Assim foi efectuado um estudo mais geral sobre filtros de passa baixa, eliminação de componente DC, picos de corrente no circuito e o comportamento do circuito com componentes de valores diferentes dos utilizados.

Por fim, foi também sugerido realizar um diagrama de Bode. O diagrama de Bode permitiu visualizar o ganho de tensão por parte do condensador, comprovando também a frequência de corte do circuito.

O uso da ferramenta do mapa de *Gantt* e o seu seguimento adequado, permitiu ao grupo uma melhor racionalização do tempo usado.

## Conclusão final

Este relatório é constituído pela descrição, síntese e registo de três trabalhos teórico-práticos, um em cada período deste segundo semestre. Em cada um dos trabalhos ficaram importantes conceitos que permitiram avançar no projecto, bem como algumas adversidades cuja resolução permitiu a captação de mais conhecimento.

No primeiro trabalho foi possível verificar laboratorialmente as leis de *Kirchhoff* bem como o balanço de potências. Através das leis de *Kirchhoff* determinou-se as tensões e correntes nos diversos elementos do circuito e posteriormente calculou-se a potência dissipada/absorvida por estes. Comprovou-se que a potência fornecida pelas fontes independentes é igual a potência absorvida pelos elementos resistivos, comprovando-se assim que a soma das potências num circuito é nula.

Devido a um erro com o valor de uma das resistências estudadas, o grupo fez uma pesquisa sobre como perceber a origem do erro, que levou à realização de uma regressão linear para a verificação de material óhmico entre outras teorias já descritas neste relatório. Contudo não foi possível determinar qual a razão que motivava tal discrepância nos valores obtidos.

Para o trabalho realizado no 2º período, foi estudado o comportamento de um circuito em regime sinusoidal estacionário. Neste capítulo do trabalho, o grupo teve de efectuar várias mudanças ao circuito de modo a equilibrar a tensão distribuída por todo os componentes com o objectivo de visualizar os desfasamentos de todos eles, em relação à fonte. Assim foram feitos os diagramas fasoriais. Neste trabalho foi fundamental entender como trabalhar com fasores, pois sem os usar não seria possível interpretar circuitos de corrente alternada. Foi possível ainda comprovar que o circuito estudado com os respectivos componentes, se poderiam reduzir a um circuito com uma resistência equivalente ( $R_{th}$ ), uma tensão ( $V_{th}$ ) podendo assim comprovar o teorema de *Thévenin*.

Este estudo do regime sinusoidal estacionário serviu de base para o 3º e último trabalho que consistia em trabalhar com um circuito integrador. No entanto, para determinar a frequência de corte e para realizar o diagrama de *Bode*, foi necessário trabalhar com onda sinusoidal, pois as ondas quadradas são compostas por soma de sinusóides. Assim sendo, a única onda capaz de transmitir a frequência fundamental é a onda sinusoidal.

O grupo atingiu praticamente todos os objectivos propostos durante a duração do projecto. Contudo este projecto pode ser alvo de melhorias, as quais enumeramos como potencial trabalho futuro.

Focando o trabalho realizado no primeiro período, descobrir o porque da discrepância do valor da resistência acima referida seria um dos estudos a poder ser realizado.

Já no segundo período, poder-se-ia melhorar os cálculos efectuados para a comprovação do teorema de Thévenin, uma vez que os resultados obtidos na prática não foram comparativamente iguais aos obtidos teoricamente. Todavia, como é feita referência na conclusão do trabalho II, a resolução do teorema está correcta.

Por fim, no último trabalho do projecto, os pontos de melhoria prendem-se numa melhor explicação de algumas questões propostas, como é o caso da eliminação do componente DC do circuito.

# ANEXOS

## Anexo 1 - Enunciado do Trabalho I

### Enunciados dos projectos em Circuitos Eléctricos

1º período 2009/10

#### Para todos os grupos:

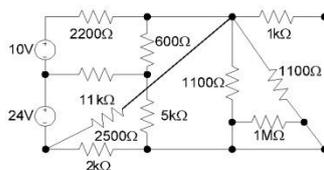
- I. Fazer um estudo do modo de funcionamento dos vários aparelhos de medida existentes no laboratório de electrónica nomeadamente:
  - Osciloscópio
  - Fonte de tensão
  - Gerador de sinais
  - Multímetro (voltímetro, ohmímetro e amperímetro)
  - Placa branca
  
- II. Seleccione 20 resistências de carvão de diferente valor (10 de  $\frac{1}{4}$  W e 10 de  $\frac{1}{2}$  W). Meça cada uma das resistências e por visualização das cores verifique o valor da resistência e da sua tolerância. Registe os valores numa tabela. Verifique a diferença em valor absoluto e em percentagem do valor indicado e comprove a indicação de tolerância. Verifique os valores anteriormente obtidos fazendo medidas de tensão e corrente (sem usar o amperímetro). Com leituras de tensão e de corrente, prove a lei de Ohm com uma das resistências.

#### Para todos trabalhos é necessário:

1. Executar os respectivos cálculos.
2. Testar o circuito no software *Circuit Maker*.
3. Implementar o circuito em placa branca.
4. Elaborar um relatório.

#### **Trabalho I**

Implemente o circuito da figura e verifique as Leis de *Kirchhoff*. Verifique também o balanço de potências.



## Anexo 2 – Enunciado do Trabalho II

### **Enunciados dos projectos em Circuitos Eléctricos**

2º período 2010/11

#### **Trabalho II**

Pretende-se com este trabalho provar o teorema de Thevenin em sinusoidal estacionário. Para tal projecte e implemente um circuito com pelo menos duas malhas e que contenha condensadores e resistências. Deverá apenas usar uma fonte (porquê?).

Deverá usar diagramas fasoriais para representar todas as tensões e correntes

## Anexo 3 – Enunciado do Trabalho III

### Enunciados dos projectos em Circuitos Eléctricos

3º período 2010/11

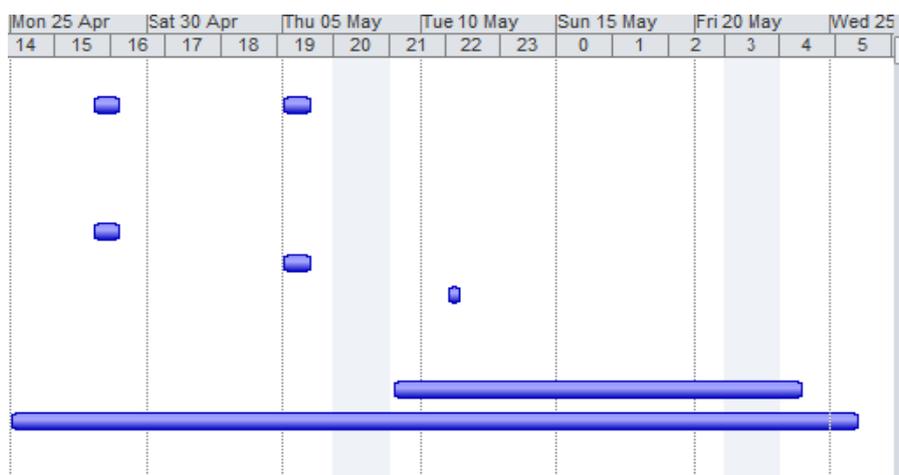
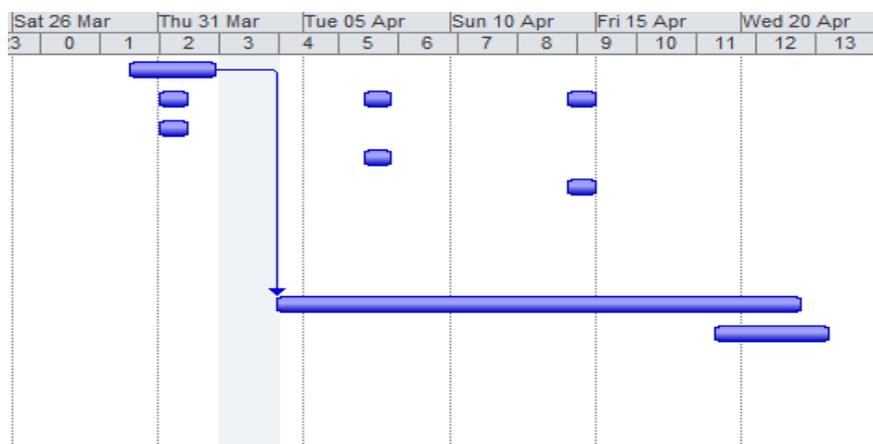
#### Trabalho III

Pretende-se com este trabalho estudar o comportamento de um integrador. Para tal projecte e implemente um circuito com um condensador e uma resistência e um gerador de sinal. Deverá usar um gerador de sinais para gerar uma onda quadrada de frequência adequada. Deverá determinar a constante de tempo. Todas as medições deverão ser comparadas com cálculos teóricos e simulações em *Circuit Maker*.



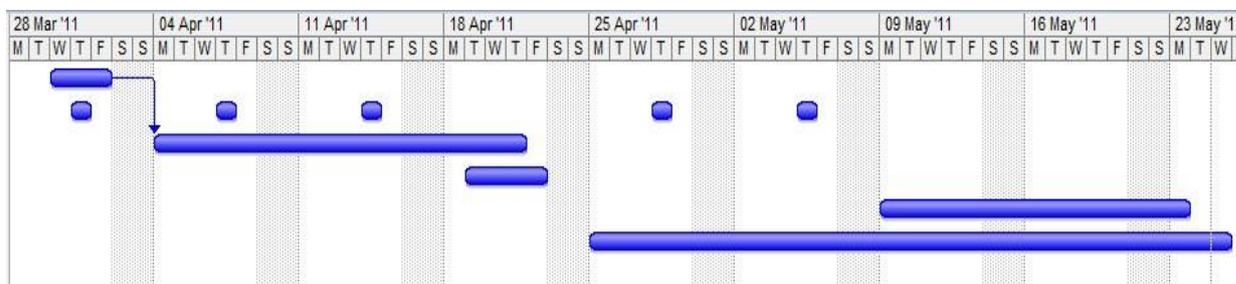
Anexo 6 – Mapa de Gantt inicial (2º período)

		Task Name	Duration	Start	Finish
1		Preparação do Projecto para o 2º Período	3 days	Wed 30-03-11	Fri 01-04-11
2		Reunião	29,5 days	Thu 31-03-11	Wed 11-05-11
3		Reunião 1	1 day	Thu 31-03-11	Thu 31-03-11
4		Reunião 2	1 day	Thu 07-04-11	Thu 07-04-11
5		Reunião 3	1 day	Thu 14-04-11	Thu 14-04-11
6		Reunião 4	1 day	Thu 28-04-11	Thu 28-04-11
7		Reunião 5	1 day	Thu 05-05-11	Thu 05-05-11
8		Reunião 6	0,5 days	Wed 11-05-11	Wed 11-05-11
9		Projectar e implementar o circuito	14 days	Mon 04-04-11	Thu 21-04-11
10		Elaboração dos diagramas fasoriais das tensões e correntes	4 days	Tue 19-04-11	Fri 22-04-11
11		Cálculo do Equivalente de Thévenin do circuito	11 days	Mon 09-05-11	Mon 23-05-11
12		Elaboração do relatório	23 days	Mon 25-04-11	Wed 25-05-11



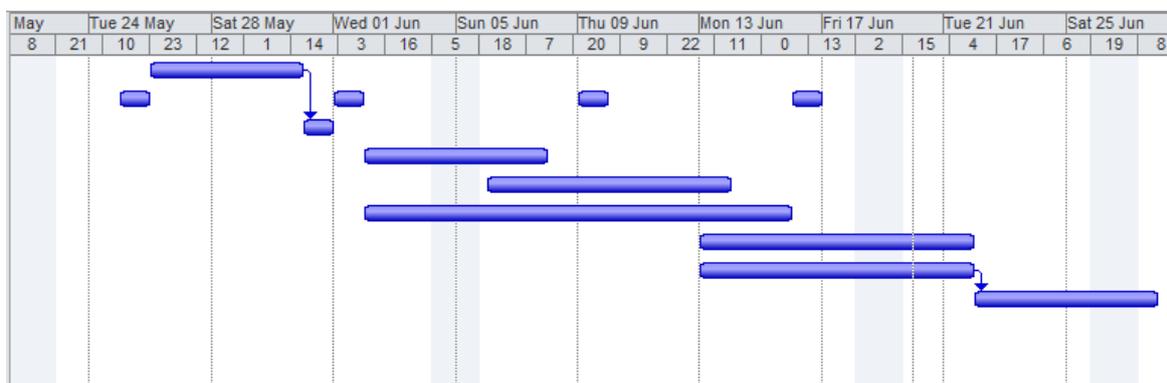
**Anexo 7 - Mapa de Gantt final (2º período)**

		Task Name	Duration	Start	Finish	Predece
1		Preparação do Projecto para o 2º Período	3 days	Wed 30-03-11	Fri 01-04-11	
2		+ Reunião	29,5 days	Thu 31-03-11	Wed 11-05-11	
9		Projectar e implementar o circuito	14 days	Mon 04-04-11	Thu 21-04-11	1
10		Elaboração dos diagramas fasoriais das tensões e correntes	4 days	Tue 19-04-11	Fri 22-04-11	
11		Cálculo do Equivalente de Thévenin do circuito	11 days	Mon 09-05-11	Mon 23-05-11	
12		Elaboração do relatório	23 days	Mon 25-04-11	Wed 25-05-11	



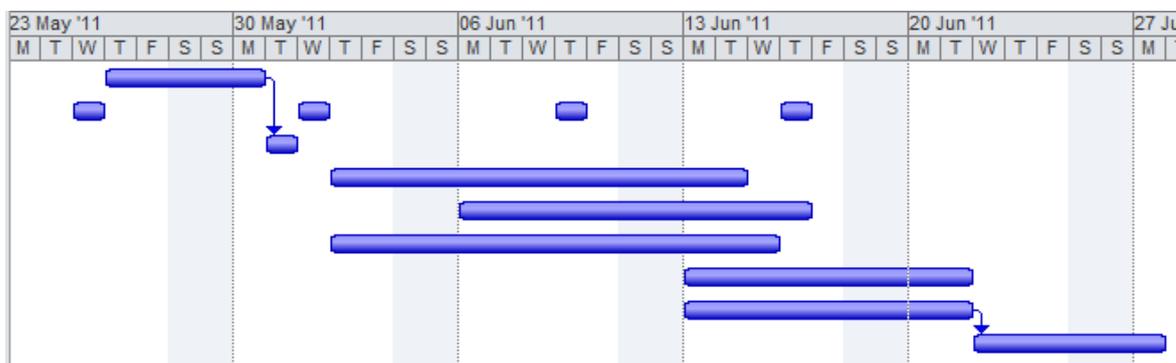
**Anexo 8 – Mapa de Gantt inicial (3º período)**

		Task Name	Duration	Start	Finish
1		Preparação do Projecto para o 3º Período	3 days	Thu 26-05-11	Mon 30-05-11
2		<b>+ Reunião</b>	<b>17 days</b>	<b>Wed 25-05-11</b>	<b>Thu 16-06-11</b>
7		Projectar e implementar o circuito	1 day	Tue 31-05-11	Tue 31-05-11
8		Cálculo do Tau e da frequência de corte	4 days	Thu 02-06-11	Tue 07-06-11
9		Diagrama de Bode	6 days	Mon 06-06-11	Mon 13-06-11
10		Questões teóricas sobre o trabalho realizado	10 days	Thu 02-06-11	Wed 15-06-11
11		Poster e Abstract	7 days	Mon 13-06-11	Tue 21-06-11
12		Realização do pré-relatório	7 days	Mon 13-06-11	Tue 21-06-11
13		Finalização do relatório final	4 days	Wed 22-06-11	Mon 27-06-11

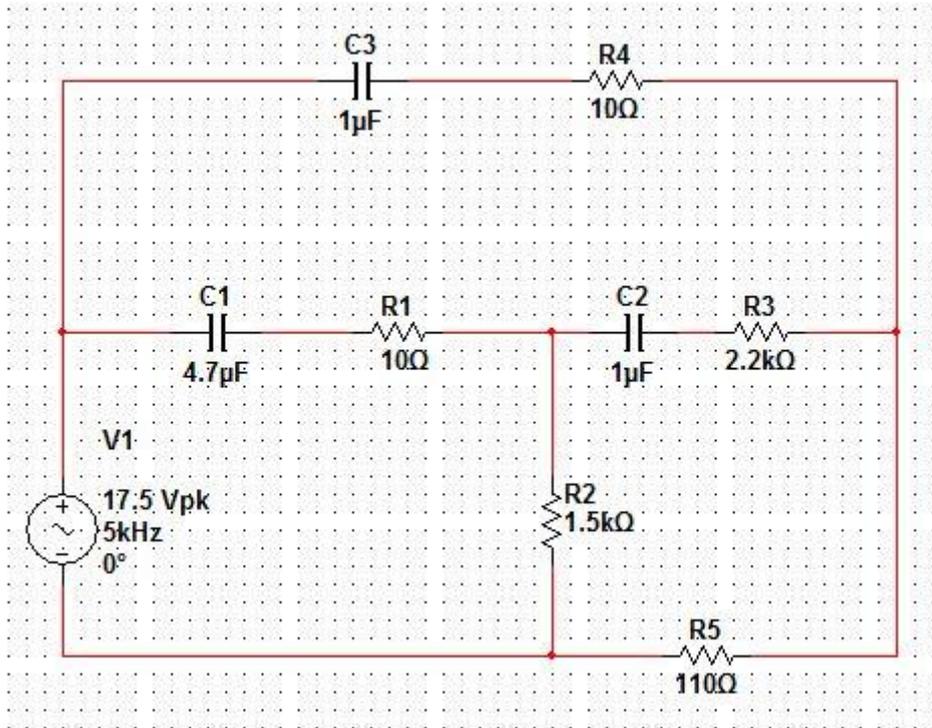


**Anexo 9 - Mapa de Gantt final (3º período)**

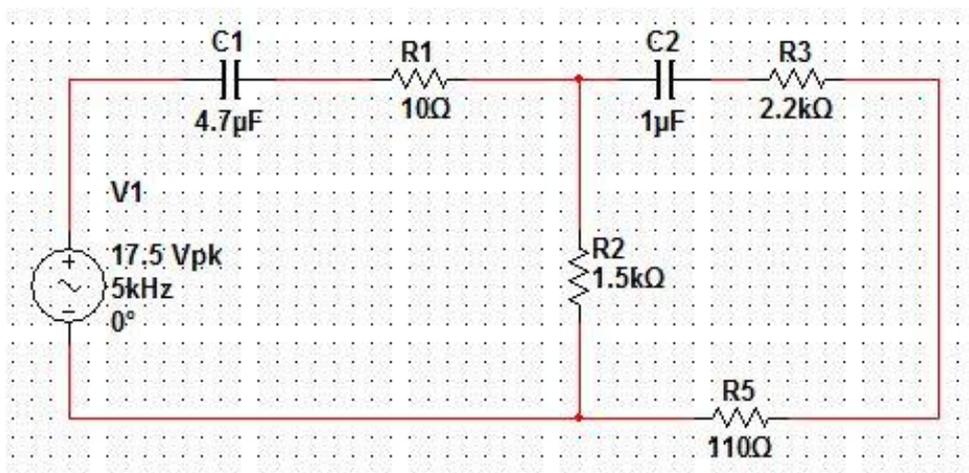
		Task Name	Duration	Start	Finish
1		Preparação do Projecto para o 3º Período	3 days	Thu 26-05-11	Mon 30-05-11
2		<b>+ Reunião</b>	<b>17 days</b>	<b>Wed 25-05-11</b>	<b>Thu 16-06-11</b>
7		Projectar e implementar o circuito	1 day	Tue 31-05-11	Tue 31-05-11
8		Cálculo do Tau e da frequência de corte	9 days	Thu 02-06-11	Tue 14-06-11
9		Diagrama de Bode	9 days	Mon 06-06-11	Thu 16-06-11
10		Questões teóricas sobre o trabalho realizado	10 days	Thu 02-06-11	Wed 15-06-11
11		Poster e Abstract	7 days	Mon 13-06-11	Tue 21-06-11
12		Realização do pré-relatório	7 days	Mon 13-06-11	Tue 21-06-11
13		Finalização do relatório final	4 days	Wed 22-06-11	Mon 27-06-11



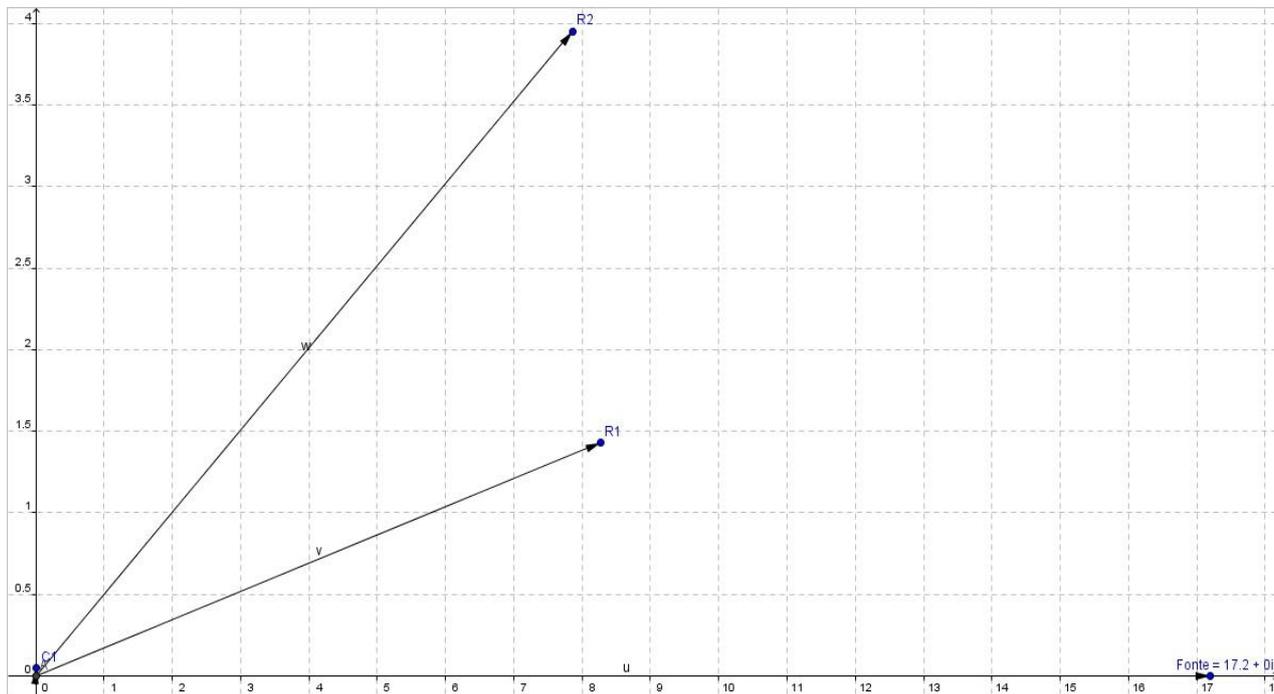
**Anexo 10 – Circuito inicial 1 (2º período)**



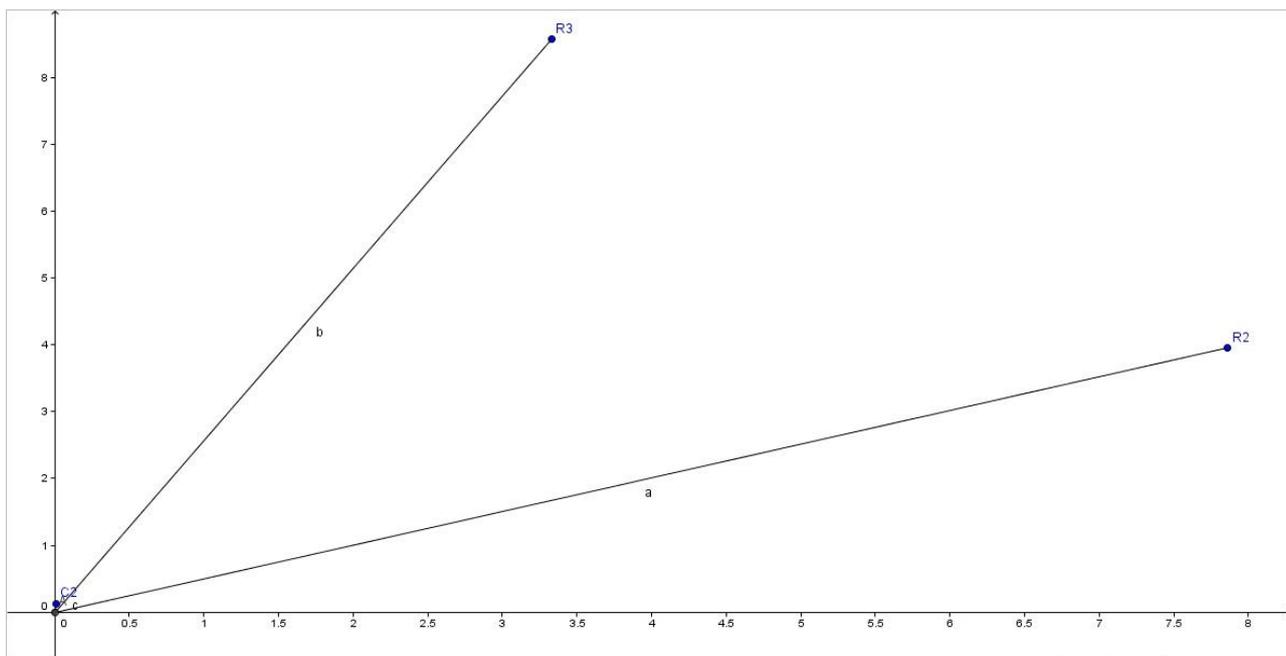
**Anexo 11 – Circuito inicial 2 (2º período)**



### Anexo 12 – Diagrama fasorial (Malha 1)



### Anexo 13 – Diagrama fasorial (Malha 2)



# Electric circuit project

Finally it was also asked the group to explain why can't we connect 2 signal generators into a circuit.

### Introduction:

In the second semester of the first year of the Electrotechnical Engineering graduation on Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Agueda there is a Electric circuit thematic project.

This project is divided into three works, each one being made in each period of this semester. It is base in research, planning, handling and experiences in electric circuits.

### First Work Period

The objectives of this first work was to make a few laboratorial equipment descriptions and to prove the Kirchhoff laws in a DC direct current circuit, composed by sources and resistances.

#### Laboratorial equipment description:

Oscilloscope;  
Source;  
Signal generator;  
Multimeter;  
Breadboard;

#### The Kirchhoff laws




### Thévenin theorem:



#### Lag measurement:



#### Current measurement:



#### Phasor diagrams:



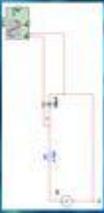
### Power Balance:

The sum of all potential in a circuit must be equal to zero.

### Second Work Period

The main objectives proposed in this second work period were to prove the Thévenin theorem, to measure the lag and measure the currents in the circuit.

This time, the circuit was made by the work group, but it had to follow certain conditions. It had to have at least two meshes, capacitors and resistances.



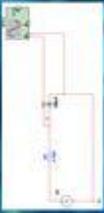
### Third Work Period

In this third work period, the objectives were to make an integrator circuit, to make the Bode diagram for that circuit and to calculate the time constant. The main objective of an integrated circuit is to make a circuit and applying a certain frequency, with a square wave, to the circuit and it returns a triangular wave.

The Bode diagram shows the gain of the capacitor tension and the cutoff frequency of the circuit.

The time constant, also known as Tau, shows the time that a capacitor takes to charge or discharge. That time is normally assumed as five Tau.

#### Integrator Circuit:



### Conclusions:

In the first work, it was possible to check laboratory the Kirchhoff Laws as well as the power balance.

Due to an error with the value of the resistance studied, the work group had made a research on how to realize what was the source of the error, which led to the realization of a linear regression to verify the composition of the material.

For the work done in the second period, it was studied the behavior of a circuit on a sinusoidal steady regime.

In this study the Thévenin theorem was confirmed in the chapter of the work, the group had several changes of the circuit, and making in a way that had balanced the voltage distribution across the components.

The objective of seeing the lag between all of them and the source.

Thus the phasor diagrams were made. In this work, it was fundamental to understand how to work with phasors, because without using them, it would not be possible to interpret the AC circuits.

This study has served the group as a base to the third and last work that consisted in working with a integrator circuit.

However, to determine the cutoff frequency and to do the Bode diagram, it was needed to work with a sinusoidal wave, because the square waves are made out of sinusoidal waves.

Therefore, the only one capable of transmitting a frequency it's the sinusoidal wave.

### Bode Diagram:



### Time constant:

