



# Análise de Circuitos

LEE 2007/08

Guia de Laboratório

Trabalho 2

## **Amplificadores Operacionais**

Paulo Flores

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

# 1 Objectivos

Este trabalho de laboratório tem os seguintes objectivos:

1. familiarização com o equipamento de medida disponível e com as bases de experimentação laboratorial;
2. realização de montagens simples com amplificadores operacionais;
3. introdução ao simulador eléctrico pspice.

# 2 Sumário

Este trabalho foi dimensionado de modo a ser realizado numa sessão de laboratório de 2 horas, desde que previamente tenham sido resolvidas as questões teóricas e realizadas as simulações. O plano de trabalho consta das seguintes partes:

1. montagem inversora com ampop e sua simulação;
2. montagem não inversora com ampop e sua simulação;
3. montagem com realimentação positiva.

Os resultados devem ser apresentados nas folhas em anexo, previstas para esse efeito, juntamente com os resultados das simulações realizadas.

# 3 Equipamento para Ensaio Laboratorial

1. Base de experimentação DL 3155M16, ou placa *breadboard*, e respectivas Fontes de Alimentação;
2. Voltímetro Digital DC e Gerador de Sinais;
3. Osciloscópio de duplo traço;
4. Cabos de ligação para a base de experimentação e para os aparelhos laboratoriais.

A montagem dos circuitos em ensaio é feita sobre a base de experimentação através da correcta interligação do componentes previamente montados na placa de circuito impresso. Ou, alternativamente, montando e interligando os respectivos componentes na placa *breadboard*.

A alimentação dos circuitos em ensaio é feita directamente através da base de experimentação que fornece tensões DC reguláveis de 0V até +15V e -15V, e fixa de +5V e -5V.

## 4 O Amplificador Operacional

Na figura 1 apresenta-se o símbolo eléctrico e um esquema equivalente muito simplificado, do amplificador operacional (ampop), que é um amplificador integrado monolítico.

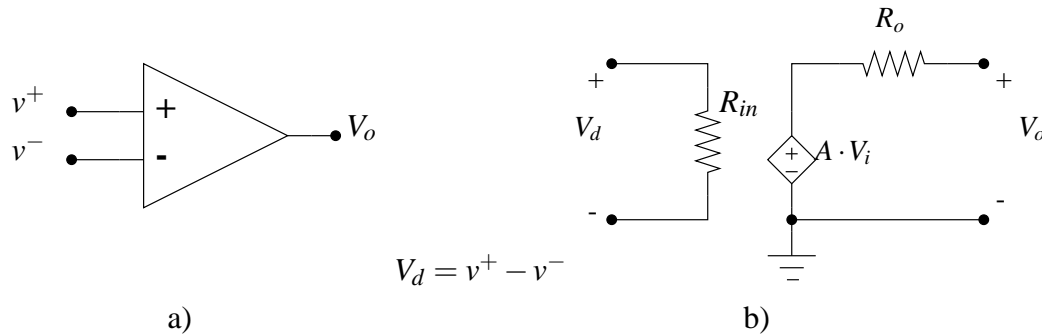


Figura 1: Amplificador operacional: a) símbolo eléctrico, b) modelo linear simplificado

Um amplificador operacional é dito ideal quando o seu funcionamento linear pode ser descrito pelo modelo simplificado da figura 1-b) com  $R_{in} = \infty$ ,  $R_o = 0$  e  $A \rightarrow \infty$ . Estas condições correspondem respectivamente a: i) a corrente nas entradas + e - do ampop ser nula; ii) o gerador de tensão comandado estar ligado directamente ao nó de saída; e iii) a tensão de entrada  $V_d$  ser nula (as tensões  $v^+$  e  $v^-$  são iguais), em virtude da tensão de saída ter de ser finita ( $V_d = \frac{V_o}{A}$ ).

As ligações do circuito integrado  $\mu A74$  é feita de acordo com o diagrama da figura 2. As tensões de alimentação positiva e negativa ( $+V_{alim}$  e  $-V_{alim}$ ) devem ser de  $+15V$  e  $-15V$  provenientes das fontes DC da base de experimentação.

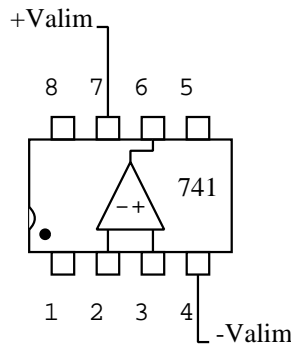


Figura 2: Diagrama de ligações do  $\mu A74$ .

## 5 Plano de Trabalho

### 5.1 Montagem Inversora com Amplificador Operacional

Monte o circuito representado na Figura 3 utilizando os seguintes valores para as resistências:  $R_a = 10k\Omega$  e  $R_f = 100k\Omega$ . Utilize os componentes do circuito ① da base de experimentação cujos valores respectivos são:

$$R1 = 22k\Omega$$

$$R4 = 10k\Omega$$

$$R2 = 10k\Omega$$

$$R5 = 10k\Omega$$

$$R3 = 100k\Omega$$

$$N1 = \mu A741$$

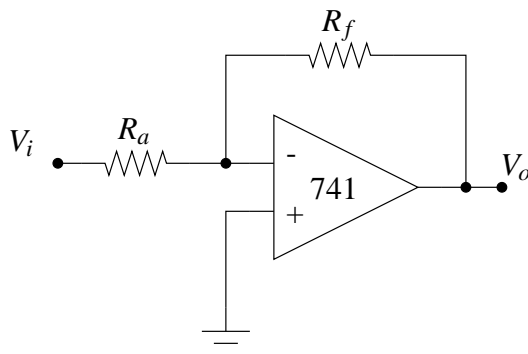


Figura 3: Amplificador operacional em montagem inversora

Simule o funcionamento do circuito da figura 3 usando o programa pspice. Para o efeito crie um ficheiro com a extensão .cir com as seguintes instruções:

```
* Amplificador inversor
*
* (AMPOP - Modelo sem saturacao)
* Inicio da definicao do subcircuito (AMPOP)
* Este subcircuito representa o modelo linear simplificado do ampop
* AMPOP: 1(+), 2(-) 3(Vo)
.SUBCKT AMPOP 1 2 3
RI 1 2 2MEG
R0 3 4 75
EA 4 0 1 2 200000
.ENDS AMPOP
* Fim da definicao do subcircuito do ampop

* Descricao da montagem como ampop
X1 0 2 3 AMPOP
Ra 2 1 22K
Rf 3 2 110K

* Excitacao sinusoidal de entrada
VI 1 0 SIN(0 0.5 1K)

* Tipo de analise a realizar pelo simulador
.TRAN .01M 3M
.PROBE
.END
```

Da linha 7 à 12 é descrito um subcircuito com um modelo linear simplificado para o amplificador operacional. Desenhe este modelo e numere os respectivos nós. Da linha 13 à 17 é descrita a montagem inversora recorrendo ao subcircuito do ampop. Repare que a numeração

dos nós no subcircuito do modelo do ampop é independente da dos nós do circuito global descrito a partir da linha 13. Desenhe também o circuito global, usando para o subcircuito modelo do ampop o símbolo da figura 1-a), identifique a numeração dos respectivos nós.

Após realizar a simulação do circuito obtenha a evolução no tempo dos sinais de entrada, saída e também da entrada inversora do ampop. Anexe os resultados obtidos ao relatório.

Execute de seguida os seguintes passos do procedimento experimental, registrando e tentando comentar e justificar todos os resultados obtidos no Anexo de Apresentação de resultados:

1. Aplique em  $V_i$  um sinal sinusoidal com  $0.5V$  de amplitude ( $1V_{pp}$ ) e com frequência de  $1kHz$ . Observe e registre os sinais de entrada e de saída simultaneamente no osciloscópio (entrada no Canal 1 e saída no Canal 2). A escala de cada canal deve ser regulada por forma a permitir a melhor observação possível do sinal em questão. Comente os resultados obtidos tendo em consideração os valores das resistências  $R_a$  e  $R_f$ . Observe, registre e comente também o sinal presente na entrada inversora do ampop,  $v^-$  (pino 2). Compare com os resultados obtidos na simulação.
2. Aumente agora a amplitude do sinal de entrada para  $2V$  ( $4V_{pp}$ ) e registre as alterações aos sinais observados anteriormente. Comente e justifique, com particular detalhe o que ocorre na entrada inversora do ampop observando simultaneamente no osciloscópio este sinal e a saída do circuito.
3. Altere agora os valores das resistências para:  $R_a = 22k\Omega$  e  $R_f = 100k\Omega$ . Determine experimentalmente para que valor de tensão da entrada  $V_i$  o circuito deixa de ter um comportamento linear. Compare o valor experimental com o valor esperado teoricamente e comente.

## 5.2 Montagem Não-Inversora com Amplificador Operacional

Monte o circuito representado na Figura 4 fazendo  $R_a = 10k\Omega$  e  $R_f = 10k\Omega$ . Utilize os componentes do circuito 2 da base de experimentação cujos valores respectivos são:

$R1 = 10k\Omega$	$R2 = 1k\Omega$	$R3 = 10k\Omega$	$R4 = 100k\Omega$
$R5 = 1k\Omega$	$R6 = 10k\Omega$	$R7 = 100k\Omega$	$N1 = \mu A741$

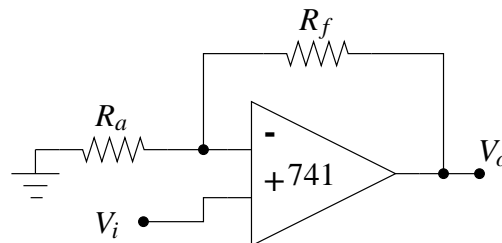


Figura 4: Amplificador operacional em montagem não inversora

Aplique em  $V_i$  um sinal sinusoidal com  $2V$  de amplitude ( $4V_{pp}$ ) e frequência de  $1kHz$ .

Realize a simulação do circuito da figura 4 nas condições do paragrafo anterior (altere para isso a descrição spice da montagem do amplificador inversor). Obtenha a resposta no tempo dos sinais de entrada e saída do circuito. Anexe os resultados de simulação ao relatório.

Execute os seguintes passos do procedimento experimental:

1. Utilize o canal 1 (X) do osciloscópio para visualizar a tensão de entrada  $V_i$  e o canal 2 (Y) para visualizar a tensão de saída  $V_o$ . Observe e registre  $V_i$ ,  $V_o$ . Observe em seguida a tensão em  $v^-$  (pino 2). Comente os resultados obtidos.
2. Faça agora  $R_a = 1k\Omega$  e aumente a tensão de entrada até que a característica não linear do ampop (saturação) se observe na saída. Coloque o osciloscópio em modo XY e registre as características de transferência do circuito, para os dois valores de  $R_a$ . Compare e comente os resultados obtidos e determine o ganho da montagem a partir das respectivas características de transferência.

### 5.3 Montagem com realimentação positiva e histerese

Monte o circuito representado na Figura 5 fazendo  $R_a = 2.2k\Omega$ ,  $R_b = 10k\Omega$  e  $R_c = 100k\Omega$ . Utilize os componentes do circuito 5 da base de experimentação cujos valores respectivos são:

$$R1 = 2.2k\Omega$$

$$R2 = 5k\Omega$$

$$R3 = 5.6k\Omega$$

$$R4 = 2.7k\Omega$$

$$R5 = 5.6k\Omega$$

$$R6 = 10k\Omega$$

$$R7 = 1k\Omega$$

$$R8 = 100k\Omega$$

$$N1 = \mu A741$$

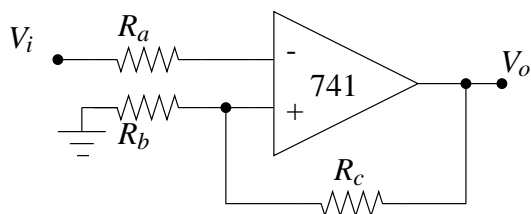


Figura 5: Amplificador operacional em montagem com realimentação positiva e histerese.

Execute os seguintes passos do procedimento experimental:

1. Usando uma onda triangular na entrada  $V_i$  de amplitude suficiente para a saída alternar entre dois valores de tensão observe e registre simultaneamente  $V_i$  e  $V_o$ .
2. Coloque o osciloscópio em modo X-Y e observe simultaneamente os sinais de entrada (X) e de saída (Y) por forma a obter a característica de transferência deste circuito. Comente os resultados.
3. Observe a influência que o valor de  $R_b$  tem sobre a característica observada fazendo  $R_b = 1k\Omega$ . Justifique as suas observações através dos cálculos teóricos.

## TRABALHO Nº 2

# Amplificadores Operacionais

## Registo de Resultados Experimentais

Grupo: \_\_\_\_\_

Nº: \_\_\_\_\_ Nome: \_\_\_\_\_

Nº: \_\_\_\_\_ Nome: \_\_\_\_\_

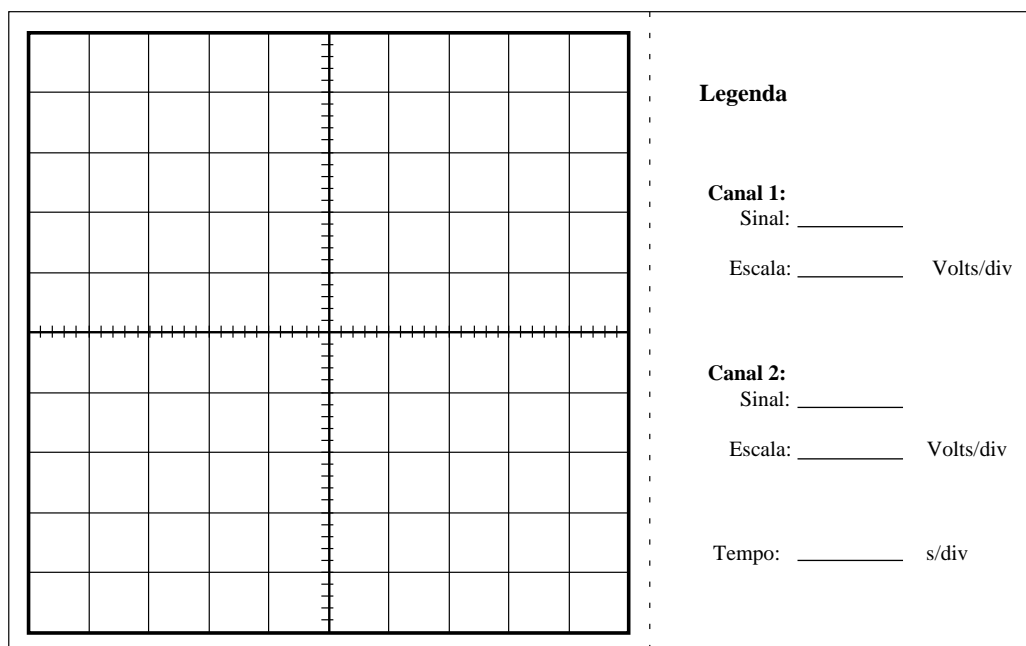
Nº: \_\_\_\_\_ Nome: \_\_\_\_\_

### 5.1 Montagem Inversora com Amplificador Operacional

Desenho do circuito e identificação dos nós do ficheiro de simulação para o spice.

1.  $V_i = 0.5 \sin(2\pi \cdot 10^3 \cdot t)$  [Volt]

Registo de  $V_i$  e  $V_o$

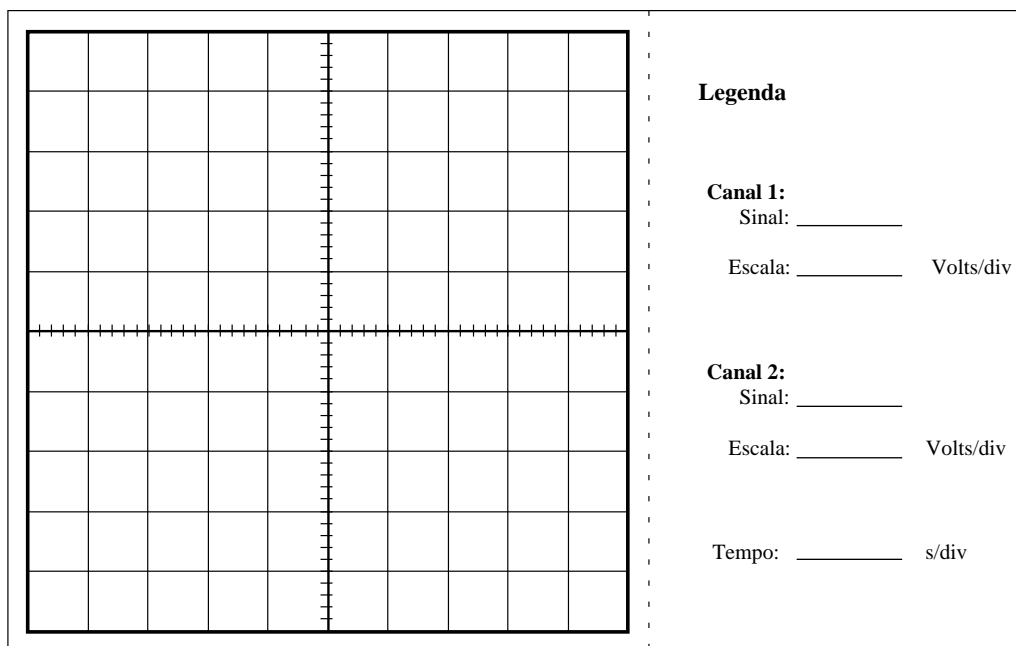


Observação da tensão na entrada inversora,  $v^-$ :

Comentário ao resultado:

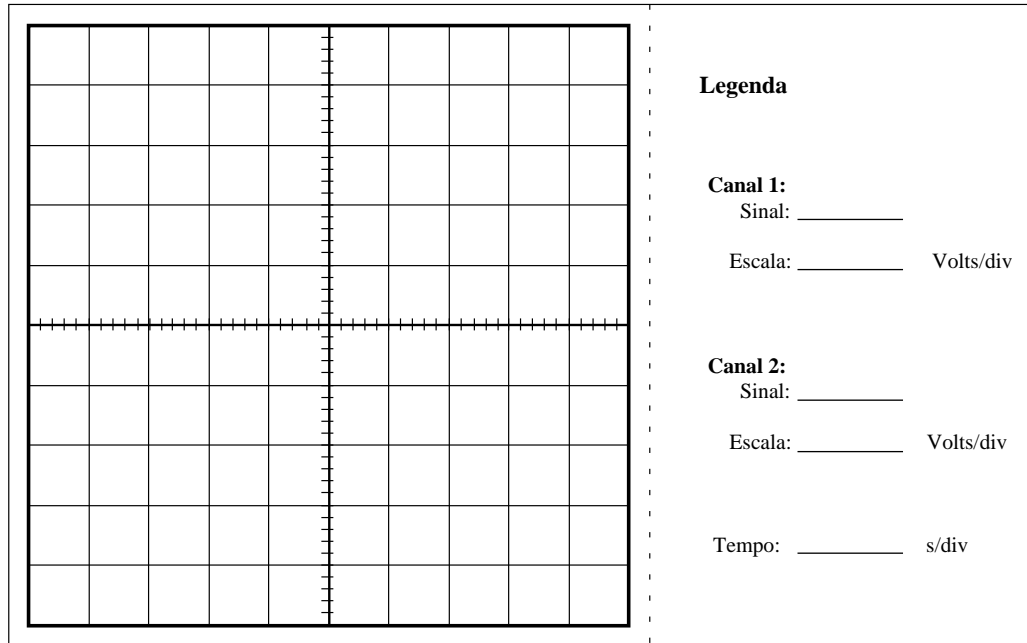
2.  $V_i = 2 \sin(2\pi \cdot 10^3 \cdot t)$  [Volt]

Registo de  $V_i$  e  $V_o$



Comentário aos resultado:

Registo de  $V_o$  e  $v^-$



Comentários aos resultados:

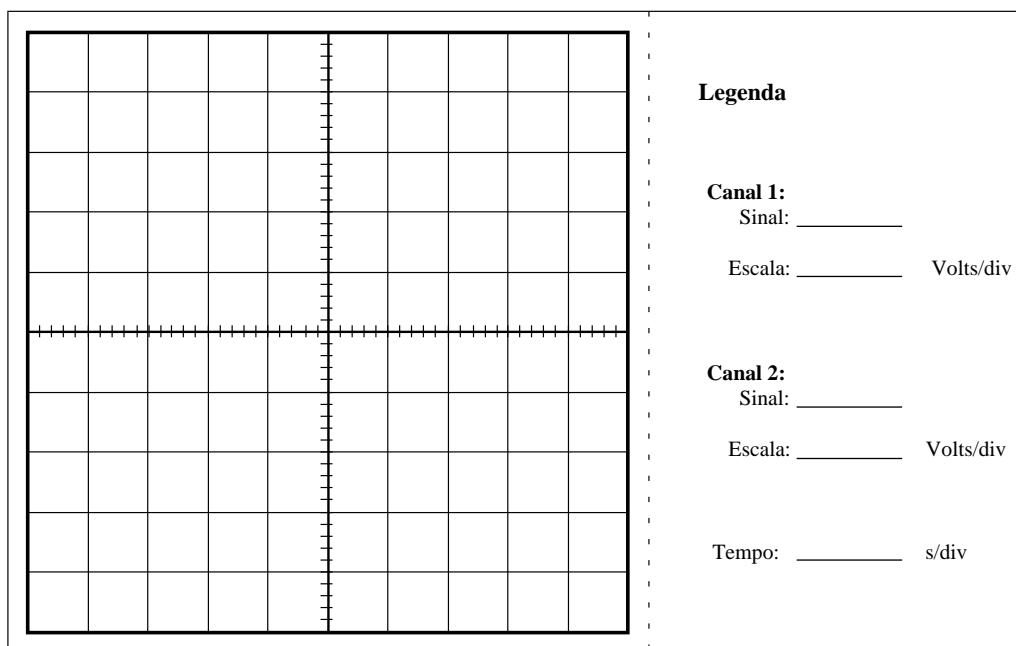
3. Valor máximo na entrada  $V_i$  (obtido experimentalmente).

Cálculo teórico do valor máximo da entrada

## 5.2 Montagem Não-Inversora com Amplificador Operacional

1.  $V_i = 2 \sin(2\pi \cdot 10^3 \cdot t)$  [Volt]

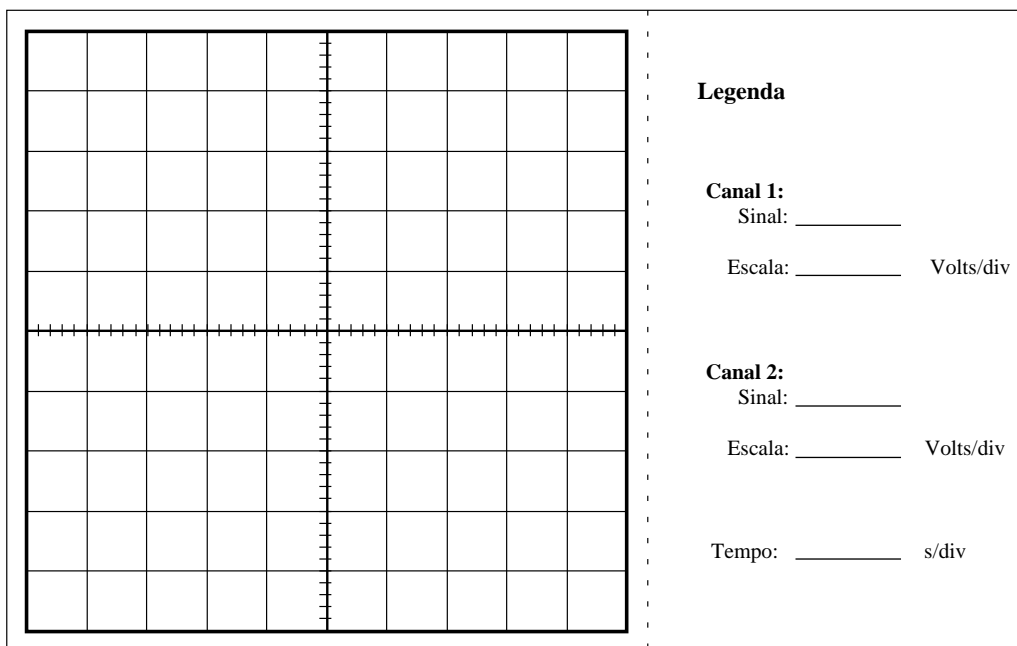
Registo de  $V_i$  e  $V_o$



Observação da tensão na entrada inversora,  $v^-$ :

Comentário ao resultado:

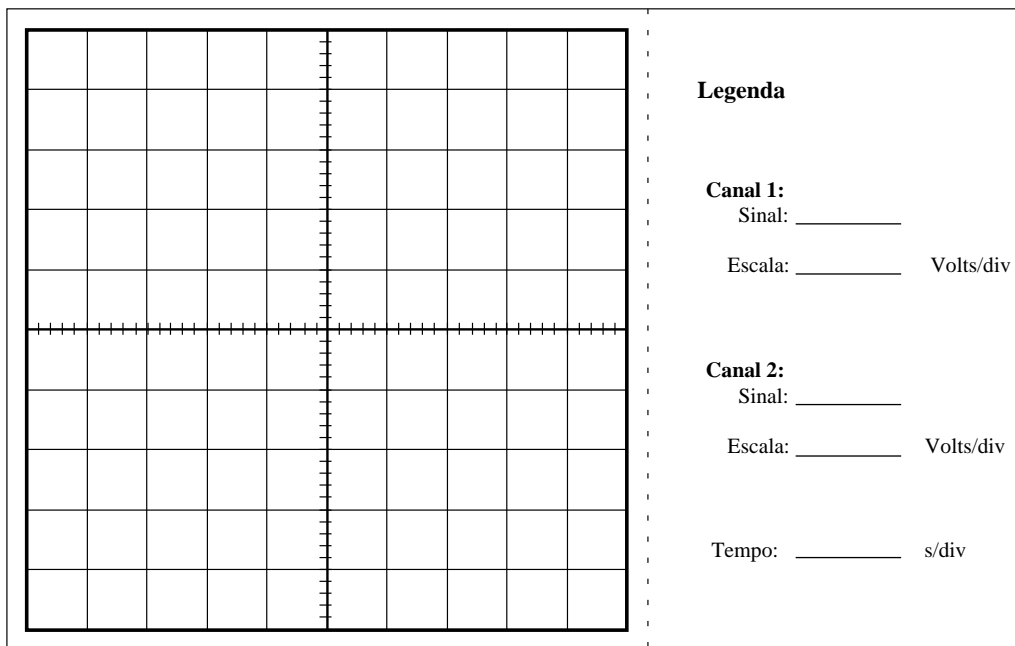
2. Características de transferência e ganhos experimentais



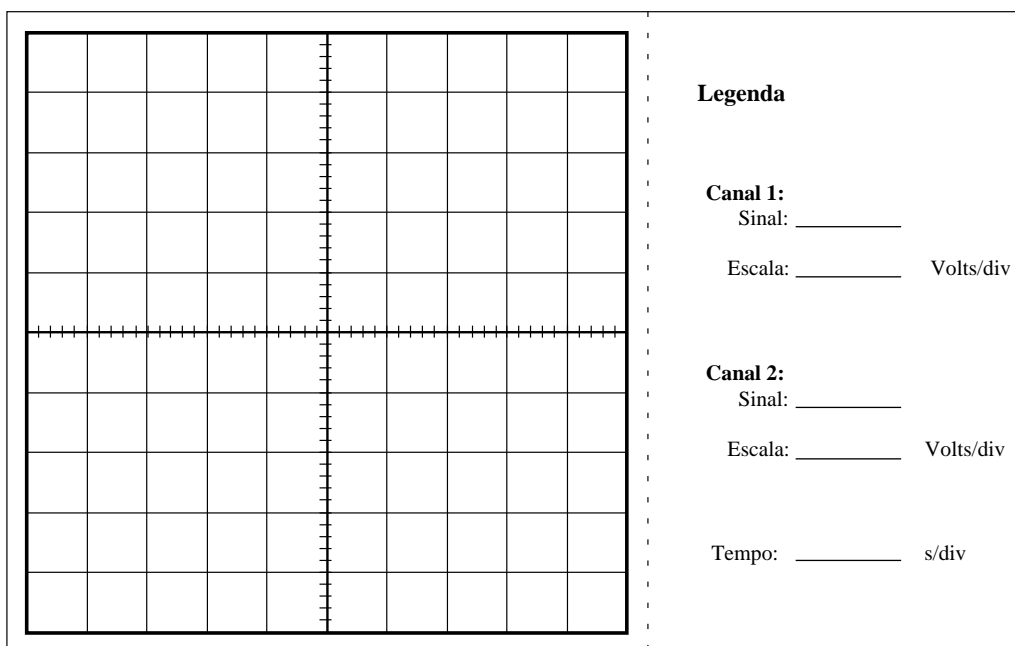
Cálculo do ganhos experimentais a partir da característica de transferência.

### 5.3 Montagem com realimentação positiva e histerese

#### 1. Variação de $V_i$ e $V_o$ no tempo



#### 2. Característica de transferência $V_o(V_i)$



## Comentários ao resultados

3. Comente e justifique o que acontece à característica de transferência quando  $R_b$  varia:

## **Conclusões Gerais**