

Bancada: _____		Data: _____		Hora de início: _____	
Nome		n. USP		Turma	Nota: Prova

Nota: Relatório  
 \_\_\_\_\_

## PARTE B PRÁTICA

Traga a Parte B para a aula **impressa em papel**.

- **Exercícios:** faça-os com antecedência antes da aula.
- **Anotações:** devem ser feitas durante a aula.
- ☐ : passos das atividades – para não se perder, **marque** depois de completá-las.
- ☐ Ligue o computador e os **dois monitores**.
- ☐ A unidade de disco **S:** permite acessar arquivos do servidor **\\ts02-00**. Copie do servidor a pasta abaixo e o seu conteúdo. Ajude-nos a manter o computador organizado: coloque os arquivos no lugar correto.  
 Pasta de origem: **S:\PMR3333\Exp5**  
 Destino: **D:\Public\PMR3333\Turma T**, onde **T** é o número da turma (1, 2, 3 ou 4)  
**SOBREESCREVA** caso já existam para ter a versão mais recente.
- ☐ Abra arquivo **3333\_Exp5\_Roteiro.pdf**. Ele contém um roteiro resumido, com dicas e avisos importantes. Leia atentamente as instruções a seguir e veja o roteiro da atividade antes de montar ou testar o circuito.

### Atividade 1 Ajuste do Osciloscópio e do Gerador de Funções

- **Ajuste Inicial do Osciloscópio**
    - ☐ Verifique a calibração das pontas de prova do osciloscópio. Veja o **roteiro**.
    - ☐ Configure os dois canais conforme descrito a seguir.
      - **Ativação e seleção de canais:** botão “1” e botão “2”.
      - **Atenuação 10x:** o menu “*Probe*” deve mostrar “10X Voltage”.
      - **Acoplamento DC nos dois canais:** ajuste o menu “*Coupling*” para “DC”.
      - **Limite de banda:** ajuste o menu “*BW Limit*” para “On 20MHz”.
      - **Inversão do sinal:** ajuste o menu “*Invert*” para “Off”.
    - ☐ **Configurações de Trigger:** aperte o botão “*Trig Menu*” e faça os seguintes ajustes.
      - **Source:** CH1 – compara o sinal no canal 1 com o nível ajustado de *trigger* para gerar os disparos.
      - **Type:** Edge – faz com que o instante de *trigger* seja uma das bordas do sinal *Source*.
      - **Slope:** Rising – gera os disparos nas bordas de subida do sinal *Source*.
      - **Mode:** Auto – gera disparos automaticamente caso o sinal *Source* não atinja o nível de *trigger*.
      - **Coupling:** DC – mantém o nível DC do sinal *Source* ao compará-lo com o nível ajustado de *trigger*.
    - ☐ Não usaremos a ponta do canal 2 do osciloscópio por hora. Para não deixá-la solta na bancada, prenda-a no terminal de terra do painel do osciloscópio (abaixo do “*Probe Comp*”) e desative o canal 2.
  - **Ajuste Inicial do Gerador de Funções**
- ATENÇÃO:** a tela do gerador mostra apenas uma *ilustração* da forma de onda .  
 O sinal gerado deve ser **observado no osciloscópio!**
- ☐ Ligue o gerador e ajuste: sinal **triangular** (rampa); frequência **10 kHz**, amplitude **2 V** pico a pico **simétrica** (excursão de -1 a +1 V). Veja o **roteiro**.
  - ☐ Conecte o cabo BNC com duas minipinças (uma vermelha e outra preta) à saída “*Output*”.
  - ☐ Conecte a pinça positiva (vermelha) na ponta do canal 1, e a pinça negativa (preta) na garra de terra.

- ☐ Ative a saída do gerador (botão “*Channel*”). Ajuste o osciloscópio para visualizar bem o sinal: pelo menos **dois períodos** na horizontal e amplitude do sinal com **máxima excursão visível** na vertical. Se o sinal não aparecer ESTÁTICO na tela, é necessário ajustar o nível de *trigger*.
- ☐ **Função *Average*:** Caso o sinal esteja muito ruidoso, use o modo “*Average*” com média de 4 ou mais varreduras: botão “*Acquire*”, menu “*Average*” (sem s), e selecione o número de varreduras no menu “*Averages*” (com s...). No entanto, o osciloscópio fica mais lento quanto maior o número de varreduras.

**Anotação 1a** Em caso de dúvida, peça para o professor conferir a forma de onda. Anote a hora:\_\_\_\_\_.

## Atividade 2 Amplificador não Inversor

**Exercício 1** Faça o esboço do circuito descrito na seção 5.6 (Parte A). Use o símbolo triangular do amp-op (NÃO desenhe o CI) e numere os pinos (veja como na Figura 5.7). Identifique os resistores por seus nomes ( $R_1$ ,  $R_2$ ), anote os valores nominais próximo a eles. **Represente** a fonte, o gerador de funções e o osciloscópio. Indique os pontos do circuito aos quais serão conectados a saída do gerador e aos canais do osciloscópio (Ch1 e Ch2).

**Exercício 2** Liste os resistores do exercício anterior com o código de cores dos seus valores (considere precisão de 5%). Determine o ganho  $A_{CL}$  em malha fechada em V/V e em decibéis

$A_{CL}$ : \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ dB)

**Exercício 3** Determine o valor da máxima corrente de polarização ( $I_1$  ou  $I_2$  máximo), admitindo que  $V_{out}$  satura em  $V_{CC}$  ou  $V_{EE}$ . Obtenha no *datasheet* do TL081 a máxima corrente de saída do amp-op (também conhecida como corrente de saída em curto circuito,  $I_{OS}$ ). Verifique se a corrente de polarização não ultrapassa 5% da capacidade de corrente de saída do amp-op (desta forma, restará mais de 95% de capacidade para alimentar uma carga útil).

$I_1$  máximo: \_\_\_\_\_  $I_{OS}$ : \_\_\_\_\_ ( $I_1/I_{OS} \leq$  \_\_\_\_\_ %)

- ☐ Configure a fonte para fornecer uma tensão negativa e outra positiva. ANTES de conectar a fonte ao *protoboard*, ajuste as saídas variáveis para  $V_{EE} = -6$  V e  $V_{CC} = +6$  V.
- ☐ Com a fonte DESLIGADA, conecte a fonte ao *protoboard* com cabos de CORES DIFERENTES: preto para 0 V, vermelho para  $V_{CC}$  e outra cor qualquer para  $V_{EE}$ .

**Anotação 2a** Meça os resistores ANTES de montá-los e anote. Recalcule o ganho  $A_{CL}$  com esses valores.

$R_1$ : \_\_\_\_\_  $R_2$ : \_\_\_\_\_  $A_{CL}$  previsto: \_\_\_\_\_

- ☐ Monte o circuito no *protoboard* – veja a sugestão de montagem no **roteiro**.
- ☐ Desative o gerador de sinais (botão “Channel”). Conecte a saída na entrada  $V_{in}$  e na ponta do canal 1.
- ☐ Conecte a ponta do canal 2 na saída  $V_{out}$ .
- ☐ Ligue a fonte e ative a saída do gerador de sinais. Verifique o funcionamento do circuito.
  - ✓  $V_{in}$ : sinal **triangular** de **-1 V a +1 V**, período **0,1 ms**.
  - ✓  $V_{in}$  e  $V_{out}$  estão em fase e se a amplitude do último é maior.

**Anotação 2b** Meça as amplitudes pico a pico dos sinais de entrada e de saída. Calcule o ganho em malha fechada do circuito. **COMPARE** com o ganho recalculado na anotação anterior e **DISCUTA**.

$V_{in}$ : \_\_\_\_\_ Vpp  $V_{out}$ : \_\_\_\_\_ Vpp  $A_{CL}$  medido: \_\_\_\_\_

**Anotação 2c** Mostre o circuito funcionando para o professor. Anote a hora: \_\_\_\_\_.

Visto:

### Atividade 3 Saturação do Amplificador não Inversor

**Exercício 4** No circuito descrito na seção 5.6 (Parte A), considere que as tensões de saturação do amp-op sejam:  $V_{SL} = -5,5$  V e  $V_{SH} = 5,5$  V. Determine a tensão diferencial de entrada  $V_d$  para: a)  $V_{in} = -4$  V; b)  $V_{in} = +4$  V. Lembre-se: quando a saída do amp-op satura, a tensão  $V_d$  não é mais nula!

( $V_{in} = -4$  V)  $V_d =$  \_\_\_\_\_ ( $V_{in} = 4$  V)  $V_d =$  \_\_\_\_\_

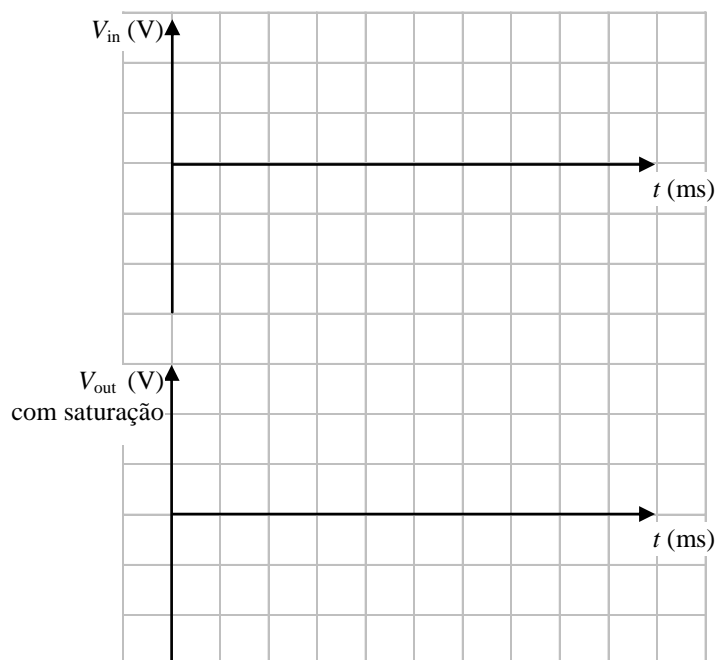
- ☐ Aumente AOS POUCOS a amplitude do sinal de entrada  $V_{in}$  até 8 V pico a pico (de **-4 V a +4 V**), para fazer a saída  $V_{out}$  do amp-op saturar. Ajuste as escalas verticais para que os sinais sempre caibam na tela.
- ☐ Ajuste as escalas verticais para ver os sinais  $V_{in}$  e  $V_{out}$  com a maior excursão vertical possível.

**Anotação 3a** Anote os valores mínimo e máximo de  $V_{out}$ . Esboce **a mão livre** os sinais  $V_{in}$  e  $V_{out}$  **em sincronismo** (use o espaço na próxima página). Indique os níveis máximos e mínimos (em volts) e o período. **COMPARE** os valores mínimo e máximo de  $V_{out}$  com as tensões de saturação inferior e superior previstas no pré-relatório e **DISCUTA**.

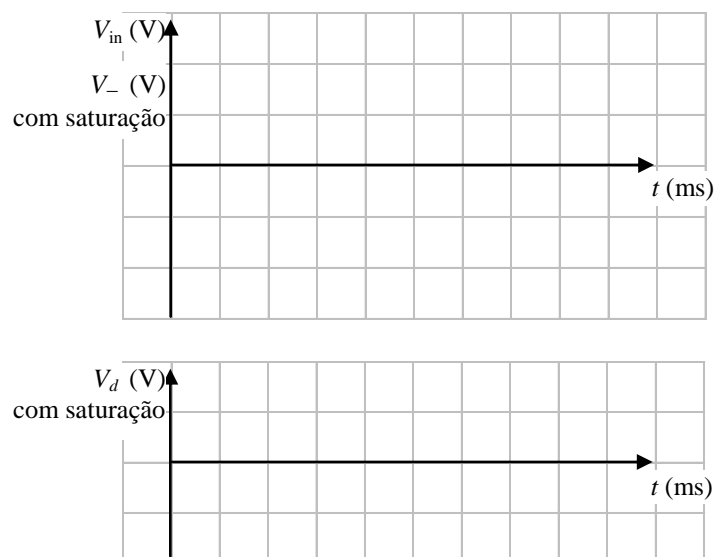
- ☐ Passe a ponta do canal 2 para a entrada inversora (–) do amp-op (pino 2) e observe a tensão  $V_-$ . Ajuste a escala vertical para ver o sinal com a maior excursão vertical possível.

**Anotação 3b** Anote os valores mínimo e máximo de  $V_-$ . Esboce **a mão livre** os sinais  $V_{in}$  e  $V_-$  **sobrepostos e em sincronismo** (use o espaço na próxima página). Indique quem é quem, os níveis máximos e mínimos (em volts) e o período. Nota: o segundo gráfico será completado depois.

(Gráficos da Anotação 3a)



(Gráficos da Anotação 3b e da Anotação 3c)



- **Observação da tensão diferencial de entrada do amp-op ( $V_d$ )**

- ☐ Ative a função “Ch1 – Ch2” (botão MATH) e ajuste o osciloscópio – veja o **roteiro**.
- ☐ O sinal resultante é a tensão diferencial de entrada  $V_d$ . Meça os níveis de tensão mínimo e máximo.

**Anotação 3c** Anote os valores mínimo e máximo de  $V_d$ . Esboce essa forma de onda no gráfico anterior, **em sincronismo** com  $V_{in}$  e  $V_-$ . Indique os valores máximos e mínimos de  $V_d$  (em volts). **COMPARE** com os valores calculados no pré-relatório e **DISCUTA**.

**Anotação 3d** Mostre o circuito funcionando para o professor. Anote a hora: \_\_\_\_\_.

Visto:

## **Atividade 4** Amplificador Inversor

**Anotação 4a** Meça os resistores ANTES de montá-los e anote os valores. Recalcule o ganho  $A_{CL}$  com esses valores (não esqueça o SINAL).

$R_1$ : \_\_\_\_\_  $R_2$ : \_\_\_\_\_  $A_{CL}$  previsto: \_\_\_\_\_

**Exercício 5** Faça o esboço do circuito na seção 5.7 (Parte A). Use o símbolo triangular do amp-op (NÃO desenhe o CI) e numere os pinos (veja a Figura 5.7). Identifique os resistores por seus nomes ( $R_1$ ,  $R_2$ ), anote os valores nominais próximos a eles. **Represente** a fonte, o gerador de funções e o osciloscópio. Indique os pontos do circuito em que serão conectados a saída do gerador e aos canais do osciloscópio (Ch1 e Ch2)..

**Exercício 6** Liste os resistores do exercício anterior com o código de cores dos seus valores (considere precisão de 5%). Determine o ganho  $A_{CL}$  em malha fechada em V/V e em decibéis

$A_{CL}$ : \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ dB)

**Exercício 7** O circuito desta Atividade se destina a amplificar o sinal de um sensor que fornece tensões entre -1 V a +1 V. A corrente máxima ( $I_{SMáx}$ ) que o sensor é capaz de fornecer ou drenar é de 1 mA. a) Determine a impedância de entrada do amplificador. b) Determine a máxima corrente que o amplificador irá exigir do sensor ( $I_{inMáx}$ ) e verifique se não ultrapassa 50% da capacidade de corrente do sensor (neste caso, é conveniente extrair do sensor um sinal com potência considerável e assim garantir melhor relação sinal/ruído).

$Z_{in}$ : \_\_\_\_\_  $I_{inMáx}$ : \_\_\_\_\_ ( $I_{inMáx}/I_{SMáx}$  : \_\_\_\_\_ %)

- ☐ Monte o circuito no *protoboard*
- ☐ Ajuste o gerador de funções (verifique no canal 1): sinal **triangular** de **-1 V a +1 V**, período **0,1 ms**.
- ☐ Desligue o gerador. Conecte a saída de sinal à entrada  $V_{in}$  e à ponta do canal 1.
- ☐ Conecte a ponta o canal 2 na saída  $V_{out}$ .

- ☐ Ligue a fonte e o gerador de sinais. Verifique o funcionamento do circuito.  
☒ Verifique se  $V_{out}$  está INVERTIDO com relação ao sinal de entrada.

**Anotação 4b** Anote as amplitudes pico a pico de  $V_{in}$  e  $V_{out}$ . Calcule o ganho em malha fechada do circuito (neste caso, **em módulo**). **COMPARE** com o ganho recalculado na anotação anterior e **DISCUTA**.

$V_{in} : \text{_____} V_{pp}$      $V_{out} : \text{_____} V_{pp}$      $|A_{CL}|$  medido: \_\_\_\_\_

Visto:

**Anotação 4c** Mostre o circuito funcionando para o professor. Anote a hora: \_\_\_\_\_.

## Atividade 5 Saturação do Amplificador Inversor

**Exercício 8** No circuito descrito na seção 5.7 (Parte A), considere que as tensões de saturação do amp-op sejam  $V_{SL} = 5,5 \text{ V}$  e  $V_{SH} = 5,5 \text{ V}$ . Determine a tensão diferencial de entrada  $V_d$  para: a)  $V_{in} = -4 \text{ V}$ ; b)  $V_{in} = +4 \text{ V}$ . Lembre-se: quando a saída do amp-op satura, a tensão  $V_d$  não é mais nula!

$(V_{in} = -4 \text{ V}) V_d = \text{_____}$                        $(V_{in} = 4 \text{ V}) V_d = \text{_____}$

- ☐ Aumente AOS POUCOS a amplitude do sinal de entrada  $V_{in}$  até 8 V pico a pico (de **-4 V a +4 V**), para fazer a saída  $V_{out}$  do amp-op saturar. Ajuste as escalas verticais para que os sinais sempre caibam na tela.
- ☐ Ajuste as escalas verticais para ver os sinais  $V_{in}$  e  $V_{out}$  com a maior excursão vertical possível.

**Anotação 5a** Anote os valores mínimo e máximo de  $V_{out}$ . Esboce **a mão livre** os sinais  $V_{in}$  e  $V_{out}$  **em sincronismo** (use o espaço da próxima página). Indique os níveis máximos e mínimos (em volts) e o período. **COMPARE** os valores mínimo e máximo de  $V_{out}$  com as tensões de saturação inferior e superior previstas no pré-relatório e **DISCUTA**. Nota: o terceiro gráfico será completado depois.

- ☐ Passe a ponta do canal 2 para a entrada inversora ( $-$ ) do amp-op e observe a tensão  $V_-$ .
- ☐ Como neste circuito a tensão diferencial de entrada  $V_d$  é igual a  $-V_-$ , inverta o canal 2: selecione o canal e ajuste o menu “Invert” para “On”. Ajuste o ganho vertical para que o sinal ocupe quase toda a tela.

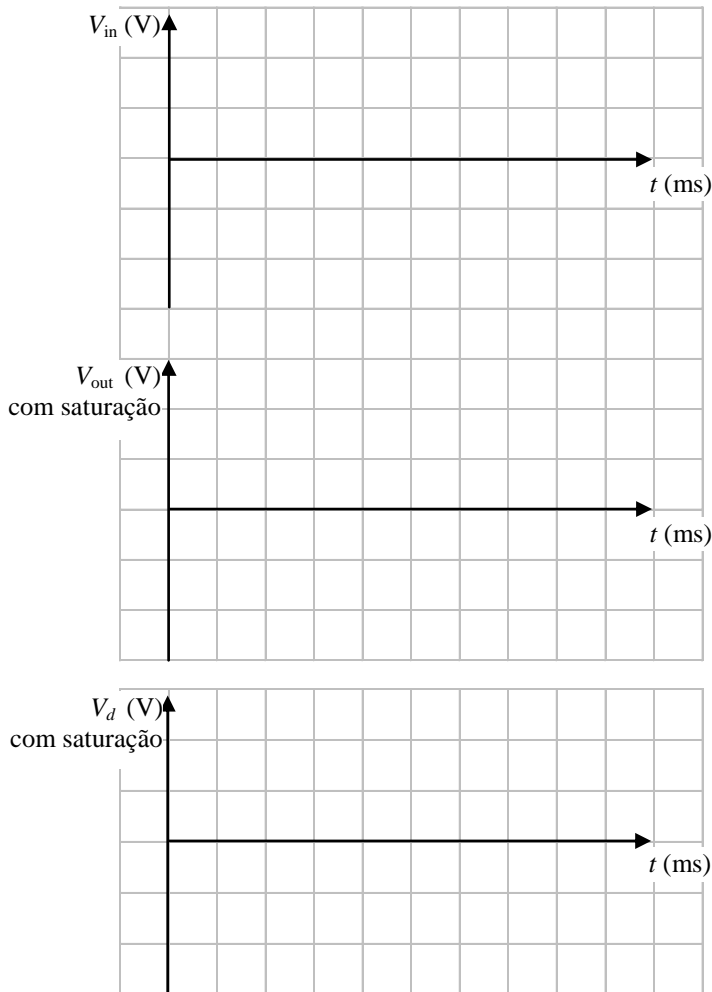
**Anotação 5b** Anote os valores mínimo e máximo de  $V_d$ . Esboce **a mão livre** o  $V_d$  no gráfico anterior **em sincronismo** com  $V_{in}$  e  $V_{out}$ . Indique os níveis máximos e mínimos (em volts). **COMPARE** os valores máximo e mínimo de  $V_d$  com os calculados no pré-relatório e **DISCUTA**.

Visto:

**Anotação 5c** Mostre o circuito funcionando para o professor. Anote a hora: \_\_\_\_\_.

- ☐ **DESATIVE** o modo “Invert” do canal 2 (seja gentil com os colegas da próxima turma).

(Gráficos da Anotação 5a e da Anotação 5b)



## **Atividade 6** Ajuste de *offset*

**Exercício 9** Consulte o *datasheet* do amp-op TL081 (em anexo). Determine o valor nominal do potenciômetro necessário para zerar o *offset*. Faça o esboço do circuito descrito na seção 5.8 (Parte A). Numere os pinos do amp-op. Anote o valor do potenciômetro e dos resistores junto a eles. Indique o ponto em que o canal 1 será conectado.

- **Medida do *offset* de saída sem o potenciômetro de ajuste.**

- ☐ Desligue a fonte de tensão e o gerador de funções. Desconecte do circuito: os terminais das pontas de prova e os terminais do cabo do gerador de funções.
- ☐ Aterre a entrada  $V_{in}$  do circuito (coloque o terminal de entrada do resistor  $R_1$  em 0 V).
- ☐ Ligue a fonte e meça a tensão de saída  $V_{out}$  com o multímetro (em modo DC!) na menor escala possível.

**Anotação 6a** Anote a tensão inicial de *offset* (use a escala mais sensível): \_\_\_\_\_

- **Ajuste de *offset* no amplificador inversor.**

NOTA: o correto seria ter feito esse procedimento antes de usar tanto o amplificador não inversor com o amplificador inversor.

- ☐ Mantenha (NÃO DESMONTE) as conexões do circuito amplificador inversor.
- ☐ Monte o potenciômetro de ajuste de *offset* – veja a sugestão de montagem no **Roteiro**.
- ☐ Conecte a ponta do canal 1 na saída  $V_{out}$ . Desligue o canal 2 do osciloscópio – não vamos usá-lo agora.
- ☐ Posicione o nível de referência do canal (“1→”) na linha central da tela.
- ☐ Ligue a fonte e observe a saída. Amplifique o sinal na vertical (reduza a escala) e ajuste o potenciômetro com uma chave de plástico para zerar a tensão de saída. Gire o parafuso devagar e **NÃO FORCE!**
- ☐ Com ganho vertical elevado, o sinal ficará muito ruidoso na tela do osciloscópio. Para melhorar a visualização, ative o modo *Average*, que calcula o sinal médio entre várias amostragens.
- ☐ Reduza a escala vertical e ajuste o potenciômetro até observar o menor *offset* possível.
- ☐ Meça a tensão de saída com o multímetro e ao mesmo tempo faça um ajuste fino no potenciômetro para minimizar o *offset*.

**Anotação 6b** Anote a tensão final de *offset* (use a escala mais sensível): \_\_\_\_\_.

Visto:

**Anotação 6c** Mostre o circuito funcionando para o professor. Anote a hora: \_\_\_\_\_.

## **Atividade 7** Finalização

Deixe a bancada limpa e em ordem. Falhas nesse procedimento serão penalizadas.

- ☐ Remova os cabinhos e os componentes do *protoboard* **com cuidado**.
- ☐ *Check list*: **VERIFIQUE** e **MARQUE** cada um dos itens abaixo.
  - ☐ **Componentes** Guarde os componentes **no espaços “Exp. 5”** da caixa. Estão todos lá?
  - ☐ **Cabinhos** Guarde todos os cabinhos na caixa. Há algum esquecido na mesa ou caído no chão?
  - ☐ **Cabos (exceto pontas do osciloscópio)** Organizados no porta-cabos na lateral da bancada.
  - ☐ **Placa de *protoboard*** Deixe-a no tampo superior da bancada. Ela está em ordem?
  - ☐ **Equipamentos** Verifique se estão todos desligados, incluindo o **computador** e os **dois monitores**.
  - ☐ **Osciloscópio** Desligue e ajeite as pontas de prova debaixo dele (**não desconecte as pontas!**).
  - ☐ **Não deixe os monitores em *stand-by***. Desligue-os apertando o botão liga/desliga.
  - ☐ **Multímetro** Deixe-o, **DESLIGADO** e com as pontas de prova arrumadas, sobre a **mesa da bancada** (parte de baixo), para podermos conferir facilmente.
  - ☐ **Defeitos** Se encontrou algum defeito, preencha a Comunicação de Defeito e liste:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
  - ☐ **Perdidos** Confira se há cabinhos, componentes, *etc.* no chão ou esquecidos sobre a bancada.
  - ☐ **Limpeza** Limpe a bancada.