



**ESCOLA POLITÉCNICA DA USP  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA E DE SISTEMAS MECÂNICOS**

---

---

**APOSTILA**  
**Laboratório de Eletrônica**  
**PMR2380**

---

---

**© Universidade de São Paulo**

---

---

**Versão: 2015b**

## Introdução

A disciplina PMR2380, Eletrônica Analógica para Mecatrônica, tem como objetivo fornecer subsídios para que os alunos do curso de Eng. Mecatrônica da EPUSP adquiram noções básicas de circuitos eletrônicos analógicos.

A conclusão do presente material só foi possível graças à participação – direta ou indireta – de diversos professores e funcionários relacionados ao curso de Mecatrônica: *Fabio G. Cozman, Lucas A. Moscato, Silvio Szafir, Antônio Fernando Maiorquim, Celso Furukawa, Diolino J. Santos F<sup>o</sup>, Marcelo G. Simões, Pai Chi Nan.*

Certas informações e marcas registradas, apresentadas nesta apostila, são de responsabilidade e propriedade de seus respectivos proprietários e/ou fabricantes. Este material poderá ser livremente copiado para uso nas aulas de laboratório da disciplina PMR2380. Porém, é expressamente proibida a cópia deste material sob qualquer forma, para outros fins que não o exposto acima, sem prévia autorização.

## Estrutura do curso

A metodologia de trabalho adotada para as aulas é a seguinte:

1. No início de cada aula é dada uma introdução teórica onde o professor elucida quais serão as atividades conduzidas na aula.
2. Uma vez realizada a experiência, o grupo deverá fazer o relatório correspondente – de forma objetiva – contendo uma parte teórica e uma parte de discussão dos dados experimentais obtidos. **Não copie a apostila!** Com relação à parte experimental, os resultados devem ser comentados detalhadamente com base na teoria correlata. **Resultados não interpretados dificultam a avaliação!**
3. O aluno deverá entregar o relatório sempre na aula posterior à experiência.

A média final (MF) será obtida combinando a média dos relatórios com nota de prova. A seguinte sequência de experiências deverá ser cumprida no laboratório. Note que não ocorre aula de laboratório em toda semana seguida.

- Exp. 1: Familiarização com Equipamentos, Teorema de Thevenin
- Exp. 2: Circuitos Retificadores com Diodos
- Exp. 3: Transistor como Amplificador, como Chave e em Reguladores
- Exp. 4: Circuitos Básicos com Amplificadores Operacionais
- Exp. 5: Osciladores

## Procedimentos de laboratório

Ao utilizar os instrumentos do laboratório, seja cuidadoso. Em primeiro lugar, é necessário agir sempre com segurança:

- Antes de manipular qualquer circuito, certifique-se de que a **fonte de alimentação está desligada**.
- Uma vez implementado um determinado circuito, verifique se a polarização de todos os componentes está correta para evitar danos que podem prejudicar o andamento da experiência.
- Use cabos de alimentação de cores diferentes e verifique sempre se não estão invertidos! Na dúvida, meça a saída da fonte com o multímetro antes de conectar.
- Alinhe os pinos dos CIs nos soquetes e insira-os com cuidado, para não entortá-los.
- Se seu circuito não está funcionando, e você conseguiu convencer o professor de que o CI está pifado, **não** o guarde de volta. Entregue-o ao professor.

Verifique se sua bancada está em ordem e limpa, antes e depois do experimento. Entre outras coisas, ela deve conter os equipamentos. A princípio, devem estar identificados com o mesmo número da bancada – de 1 a 10. No entanto você pode encontrar itens sobressalentes com identificação fora dessa faixa, indicando que o original da bancada pode estar em manutenção.

Cada grupo é responsável pelos equipamentos disponíveis na sua bancada. Se algum equipamento não estiver operando **em virtude de uso incorreto**, a responsabilidade é da equipe que os estiver manuseando. Há uma série de manuais, dos fabricantes dos equipamentos, que estão disponíveis para consulta durante a aula de laboratório. Comunique qualquer problema ao professor e preencha o formulário de Comunicação de Defeito, disponível no laboratório. Equipamentos com defeito devem ser deixados na própria bancada. Cabos, cabinhos e outros acessórios que se danificarem devem ser entregues ao professor, juntamente com a Comunicação de Defeito preenchida.

**Não pegue algo de outra bancada sem a autorização do professor.** Caso seja autorizado, devolva à bancada de origem no final da experiência.

## Experiência 1: Familiarização com os equipamentos

### Placa de Experimentos (Protoboard)

Um protoboard (Figura 1a) é uma placa plástica com trilhas condutoras horizontais que conectam 5 furos entre si e trilhas condutoras verticais que cruzam toda a extensão da placa (Figura 1b). Nessa placa podem ser encaixados circuitos integrados e componentes discretos para a realização de testes iniciais de circuitos eletrônicos.

O protoboard disponível no laboratório contém bornes coloridos para a conexão de sinais externos de alimentação via cabos com conector do tipo “pino banana”. Os circuitos integrados que utilizam encapsulamento DIP (Dual In Package) devem ser encaixados nos pinos do protoboard na direção vertical. Outros tipos de componentes podem ser colocados em qualquer posição, com o devido cuidado de usar, para cada terminal, trilhas horizontais adjacentes ou trilhas horizontais em metades diferentes.

### Atenção !

Entenda bem quais são os pinos conectados no protoboard, para evitar curto-circuitos! Note que as trilhas verticais finas estão totalmente conectadas.

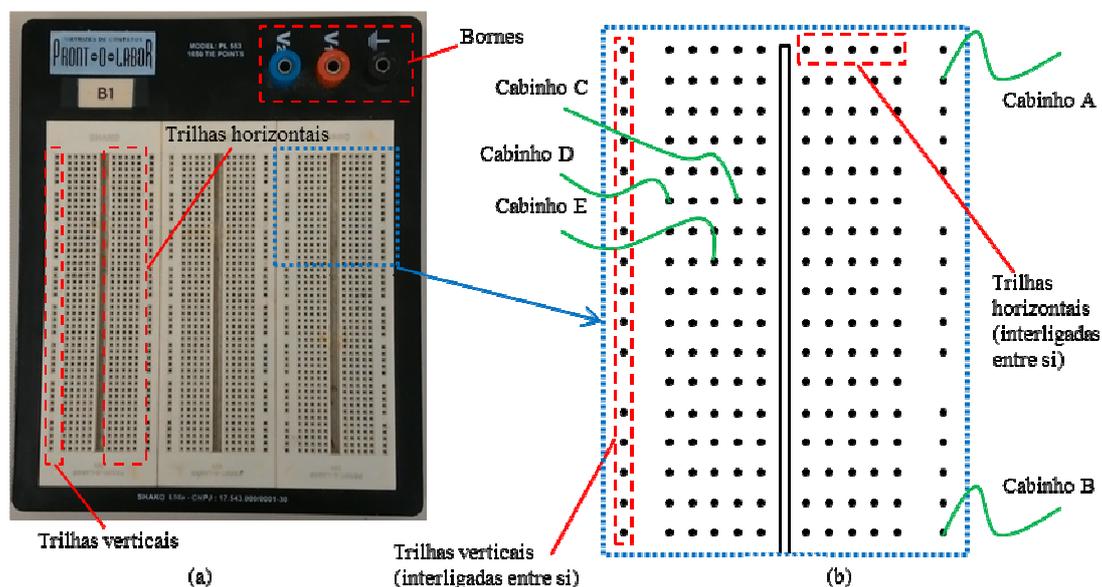


Figura 1 – (a) Fotografia do protoboard utilizado e (b) esquema das ligações no protoboard

As colunas laterais são destinadas a sinais de alimentação e sinais de entrada e saída.

Os bornes, localizados no canto superior direito do protoboard, existem para serem ligados à fonte de alimentação ou a alguma fonte de sinal. **Os bornes não estão conectados com as trilhas.** É preciso o uso de cabinhos ou jumpers para ligar os bornes às trilhas.

### Multímetro

O multímetro é um instrumento de laboratório voltado à medição de tensões, correntes, resistências (em alguns casos, medições de frequência, capacitância, teste de diodo, teste de transistor). Tensões e correntes podem ser medidas tanto em valor contínuo (CC) como em alternado (CA).

Basicamente, há dois tipos de multímetros: os multímetros eletrônicos que contém elementos ativos e os multímetros contendo simplesmente elementos passivos. A grande diferença entre os dois é a impedância de entrada (que é muito maior no eletrônico, da **ordem de dezenas de MΩ**). Por sua vez, os multímetros eletrônicos podem ser analógicos, isto é, são monitorados através de um ponteiro, ou digitais, apresentando a leitura num display numérico.

Os multímetros em geral são calibrados para mostrar valores eficazes de formas de ondas senoidais (quando utilizados para medidas de valores alternados, CA). A medição de outras formas de onda produzirá valores que não representam o valor eficaz da grandeza, e neste caso devem ser corrigidos pelo chamado *fator de forma*. **Em geral sinais variáveis devem ser medidos com osciloscópio, discutido adiante.**



Figura 2 – Multímetro Minipa ET-2060

O multímetro disponível no laboratório é do tipo digital (vide Figura 2), com uma chave seletora para escalas e funções. Note que existe uma posição para teste de diodos e transistores: se a junção semicondutora de um diodo ou transistor estiver funcionando, a leitura no mostrador será aproximadamente 0,7 volt quando polarizado diretamente.

**Atividade 1**

- Montar os 5 cabinhos “A a E” no protoboard de acordo com a Figura 1b. Podem ser montados em qualquer local do protoboard, desde que os cabinhos A e B estejam na mesma trilha vertical, cabinhos C e D na mesma trilha horizontal, e o cabinho E num outro lugar.
- Usar a função de teste de continuidade para observar que as trilhas verticais estão interligadas. Fazer o mesmo com as trilhas horizontais.

**Resistores**

Os valores de resistência são indicados por um código de cores adotado por todos os fabricantes. Esse código usa bandas coloridas marcadas no corpo do resistor. As cores e seus valores numéricos são mostrados na Tabela 1. Esse código é usado para resistores de potências 1/8 W, 1/4 W, 1/2 W, 1 W, 2 W e 3 W.

Tabela 1: Código de Cores para Resistores

cor	algarismos significativos	Multiplicador	Tolerância (%)
preto	0	1	
marrom	1	10	1
vermelho	2	100	2
laranja	3	1.000	
amarelo	4	10.000	
verde	5	100.000	
azul	6	10 <sup>6</sup>	
violeta	7	10 <sup>7</sup>	
cinza	8	10 <sup>8</sup>	
branco	9	10 <sup>9</sup>	
prata		0,01	10
ouro		0,1	5
sem cor			20

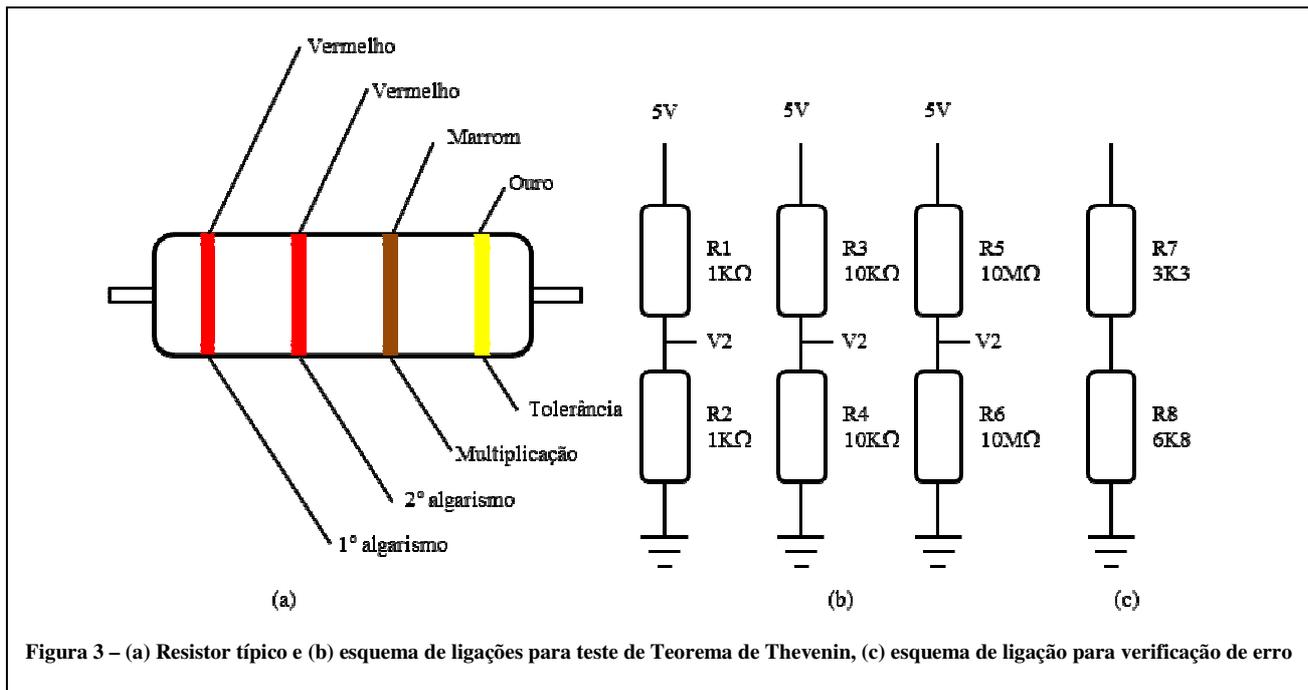


Figura 3 – (a) Resistor típico e (b) esquema de ligações para teste de Teorema de Thevenin, (c) esquema de ligação para verificação de erro

Um resistor típico é mostrado na Figura 3a, com uma representação do código de cores.

- A cor da primeira banda representa o valor do algarismo mais significativo.
- A cor da segunda banda representa o valor do segundo algarismo.
- A cor da terceira banda representa o valor do fator de multiplicação, isto é, o número de zeros a serem adicionados aos outros dois algarismos.
- A quarta banda é usada para designar a tolerância do resistor, que pode ser 5% (ouro) ou 10% (prata).

O resistor exemplificado na Figura 3a possui o seguinte código de cores: vermelho, vermelho, marrom, ouro. Portanto o seu valor seria 220Ω, com 5% de tolerância.

Existem ainda resistores de precisão com mais um algarismo significativo, isto é, esses resistores possuem uma banda adicional, com três bandas para os algarismos, uma banda para o fator multiplicador e uma banda para a tolerância. Nessa banda de tolerância as cores usadas são o marrom para 1% e o vermelho para 2%.

Os resistores disponíveis comercialmente são restritos a alguns valores padrões. Por exemplo, os valores padrão para resistores de 10% são múltiplos de: 1, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2.

Os resistores disponíveis são fabricados a partir de processos adequados para atender aos requisitos de precisão e estabilidade como a temperatura e potência dissipada.

Resistores de carbono, para uso geral, são fabricados a partir de um processo de deposição de um filme de carbono sobre um corpo de cerâmica e recoberto por um verniz para proteção elétrica e climática. São encontrados com tolerâncias que variam entre 2%, 5% e 10%.

Resistores de filme metálico são utilizados em aplicações onde se requer precisão, estabilidade e baixo coeficiente de temperatura. O processo de fabricação consiste no depósito de um filme homogêneo de níquel cromo sobre um corpo cerâmico. Esses resistores estão disponíveis com tolerâncias de 1% e 2% e coeficiente de temperatura de 50 e 100 ppm/°C.

**Atividade 2 (rel)**

- Pegue 8 resistores, dois de 1 KΩ (R1 e R2), dois de 10 KΩ (R3 e R4), dois de 10 MΩ (R5 e R6), um de 3,3KΩ (R7), e um de 6,8KΩ (R8)
- Realize a medida das resistências R2, R4 e R6 com o multímetro.
- Determinar o valor de R2, R4 e R6 do item anterior a partir do seu código de cores. Os valores medidos no item anterior estão dentro da precisão especificada pelo fabricante dos resistores?
- Muitas vezes não há disponível comercialmente o resistor necessário. Nestes casos realizam-se associações de resistores. Monte no protoboard o esquema mostrado na Figura 3c, e medir a resistência resultante. Considerando as precisões envolvidas, esta associação pode substituir um resistor de 10 KΩ? Por quê?

## Fonte de Alimentação



Figura 4 – Fonte de alimentação Minipa MPC-3003D

A fonte de alimentação disponível no laboratório possui três conjuntos de saídas de tensão (vide Figura 4). Duas saídas (1 e 2) são variáveis e uma saída é fixa. As saídas fornecem as seguintes tensões:

+30V / 0V / -30V , +3A / 0A / -3A (variável)  
5V @ 3A (fixa)

Para realizar-se o ajuste de tensões variáveis, existem dois voltímetros/amperímetros digitais instalados no painel frontal. A tensão e corrente podem ser ajustadas pelos botões. A chave seletora deve ser colocada em posição independente, ou seja, as fontes *master* e *slave* fornecem tensões de forma independente, sem ligação em série ou em paralelo.

### Atenção !

**Antes de ligar a fonte, os ajustes de corrente sempre devem ser colocados em seu valor mínimo. Este procedimento evitará possíveis danos ao equipamento, como, por exemplo, a possibilidade da queima dos fusíveis internos.**

#### Atividade 3 (rel)

- Utilizando o conjunto de saídas 2 (master), ligar a fonte de alimentação e posicionar o botão de voltagem com o indicador apontando horizontalmente para esquerda.
- Aumentar a corrente até aparecer valor de tensão no display. A luz verde C.V. estará acesa.
- Medir a tensão na saída da fonte com o multímetro. Para isto, ligue o multímetro e coloque o seu seletor na escala adequada para medir o valor de tensão mostrado no display. Anotar o valor na fonte, a escala escolhida e o valor medido no multímetro. Fazer essa medida com a ponta vermelha do multímetro na saída positivo da fonte, e a ponta preta do multímetro na saída terra (GND) da fonte. Depois, mantendo a ponta vermelha no mesmo lugar, colocar a ponta preta na saída negativa da fonte. Explicar o que foi observado.
- Esta medida deve ser feita com a chave seletora do multímetro na posição DC ou AC? Por quê?

#### Atividade 4 (rel)

- Montar os circuitos da Figura 3b no protoboard (monte cada circuito separadamente, não todos em paralelo!). Utilize a saída fixa da fonte para alimentação do circuito.

- Qual a tensão esperada  $V_2$  sobre todos os resistores  $R_2$ ,  $R_4$ ,  $R_6$  considerando a tensão de alimentação de 5,0 V?
- Meça as tensões com o multímetro. Verifique e justifique as discrepâncias encontradas. Adote um modelo adequado para representar o multímetro e avalie a impedância de entrada do mesmo.

## Osciloscópio

O osciloscópio é um dos instrumentos mais versáteis em eletrônica. Este equipamento permite a monitoração de sinais a partir do controle do feixe de elétrons que incide na tela. Com esse instrumento é possível visualizar formas de onda e medir a frequência de sinais periódicos.

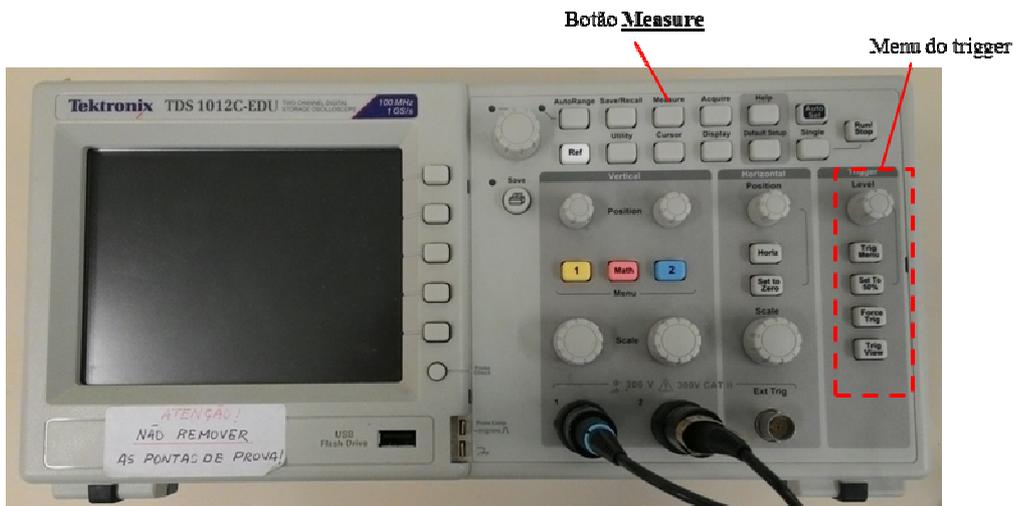


Figura 5 – Osciloscópio Tektronix TDS – 1012C-EDU

O osciloscópio possui dois canais de leitura; cada canal corresponde a uma ponta de prova. Note que as **duas pontas de prova tem o mesmo terra**; por isso não é necessário conectar as pontas de terra ao mesmo tempo – um só ponto de terra é suficiente. Como em todo osciloscópio, é possível modificar as escalas verticais e horizontais, e modificar a posição do sinal na tela (note que as escalas são apresentadas na tela).

Cada canal pode ser desligado da tela apertando o botão correspondente (CH1 ou CH2).

Cada canal pode ser mostrado como Ground, CC ou AC, apertando o primeiro botão no lado direito da tela (Coupling). **Em geral, utilize CC; AC mostra o sinal com o valor médio subtraído, e Ground mostra a posição de tensão zero.**

O sinal mostrado na tela fica parado apenas quando o valor de disparo (TRIGGER), representado pela seta amarela (para CH1) ou azul (para CH2) no lado direito da tela, se encontra entre os valores mínimo e máximo do sinal. Portanto, se você notar que o sinal não pára na tela, modifique o trigger através do botão de trigger.

É possível realizar operações matemáticas entre os canais (por exemplo, CH1 – CH2) apertando o botão MATH.

Há uma série de botões especiais na parte superior do osciloscópio; evite mexer nesses botões, pois os comandos podem paralisar os demais botões. No entanto um botão é extremamente útil e deve ser utilizado: MEASURE. Uma vez apertado o botão MEASURE, é possível obter dados dos sinais: Valor médio, Frequência, Período, Valor Eficaz (mostrado como RMS).

## Gerador de Funções

O gerador de funções é uma ferramenta auxiliar para teste, utilizado para simular vários sinais encontrados em circuitos práticos (vide Figura 6). As frequências geradas vão de 0,2 Hz até ~ 2 MHz, dispostos em 7 faixas. Esse tipo de gerador serve para injetar sinais periódicos em circuitos eletrônicos.

Note que o gerador de funções produz dois tipos de sinal: um deles tem forma de onda e amplitude controladas, que chamamos de sinais variáveis, e o outro tem uma forma de onda quadrada padrão, chamado sinal TTL, como mostrado

no lado direito da Figura 6. *Para sinais variáveis*, o gerador de funções permite o controle do valor médio do sinal através do botão de offset, da amplitude do sinal e também da sua frequência.

Como o display do gerador de funções mostra apenas a frequência do sinal de saída, para saber a amplitude e o offset do sinal é necessário o uso de um osciloscópio.

**Botão de offset apertado não significa offset nulo.**



Figura 6 – Gerador de funções Politem FG-8102

**Atividade 5 (rel)**

- Ligar o gerador de funções e o osciloscópio e conectar o osciloscópio na saída de sinal variável do gerador de funções.
- Ajustar o gerador de funções para gerar uma onda senoidal com 2,0 V pico a pico (Vpp) com tensão de offset nula e frequência de 1 kHz. Anotar as escalas escolhidas no osciloscópio.
- Alterar a frequência do gerador de sinal para uma frequência arbitrária. Ajustar os controles do osciloscópio para estabilizar o sinal na tela. Compare o valor de frequência medido com o osciloscópio com o valor fornecido pelo gerador de funções. Utilize o botão MEASURE para realizar a medida no osciloscópio.
- Ajuste uma onda triangular de 1 kHz e 2,0 Vpp com offset nulo no CH1 e conecte o sinal de saída TTL do gerador de funções no CH2. Na tela do osciloscópio ajustar os dois sinais de forma que o offset de CH1 seja o mesmo do offset de CH2. Faça um gráfico cotado com as formas de onda geradas quando se realiza as operações: CH1 – CH2 e CH1 + CH2.

**Check list no final da aula**

- 1- **Equipamentos:** Liste os equipamentos usados e verifique se estão desligados.
- 2- **Multímetro:** os cabos das pontas de prova do multímetro estão arrumados? Deixe o multímetro no tampo inferior da bancada, para que possamos conferir facilmente se está desligado.
- 3- **Osciloscópio:** Os cabos das pontas de prova do osciloscópio estão arrumados?
- 4- **Cabinhos:** Há cabinhos caídos no chão ou na bancada?
- 5- **Caixa de Cabinhos:** A caixa de cabinhos está completa?
- 6- **Cabos:** Os cabos foram recolocados nos lugares de origem?
- 7- **Empréstimos:** Usou alguma coisa de outra bancada? O que? Foi devolvido?
- 8- **Defeitos:** Encontrou algum defeito? Preencheu a Comunicação de Defeito?
- 9- **Limpeza:** A bancada está limpa?