



GIA

# Instrumentação em Química Analítica

Grupo de Instrumentação e Automação em  
Química Analítica

-Instituto de Química-  
-UNICAMP-

# Química Analítica

GIA

- A Química Analítica Trata de Métodos para a Determinação da Composição Química de Amostras
  - Química Analítica Clássica
    - Separação do analito por precipitação, extração ou destilação.
    - Identificação por cor, odor, ponto de ebulição ou fusão, reação específicas.
    - Determinação do analito por titulação e gravimetria
  - Química Analítica Instrumental
    - Medidas das propriedades físico-químicas do Analito. Emissão ou absorção da luz, fluorescência, condutividade, potencial.
    - Técnicas cromatográficas substituíram a destilação, a extração e a precipitação na separação do analito da matriz da amostra.
    - O métodos instrumentais modernos acompanharam a indústria eletrônica e da computação.

# Métodos Instrumentais

GIA

## Radiação Eletromagnética

<b>Propriedades</b>	<b>Método Instrumental</b>
Emissão da Radiação	Espect. de Emissão, Fluorescência, Fosforecência e Luminescência
Absorção da Radiação	Espectrofotometria, Fotometria RMN, Espectroscopia Fotoacústica
Espalhamento da Radiação	Turbidimetria, Neflometria e Raman
Refração da Radiação	Refratometria e Interferometria
Difração da Radiação	Difração de Raios-X e Elétrons
Rotação da Radiação	Polarimetria, Dispersão Óptica Rotatória, Dicroísmo Circular

# Métodos Instrumentais

GIA

## Elétricos

---

### Propriedades

### Método Instrumental

---

Potencial Elétrico

Potenciometria e Cronopotenciometria

Resistência Elétrica

Condutometria

Corrente Elétrica

Voltametria, Polarografia e Amperometria

Carga Elétrica

Coulometria

---

# Métodos Instrumentais

GIA

## Mistos

<b>Propriedades</b>	<b>Método Instrumental</b>
Massa	Gravimetria (microbalança de quartzo)
Relação Massa/Carga	Espectrometria de Massa
Velocidade da Reação	Métodos Cinéticos
Características Térmicas	Titulação Térmica, Calorimetria Diferencial, Análise Térmica Diferencial
Radioatividade	Métodos de Ativação e Diluição de Isótopos

# Instrumentos de Análise

The logo consists of a blue triangle pointing to the right, with the letters 'GIA' in white inside a smaller black triangle at its base.

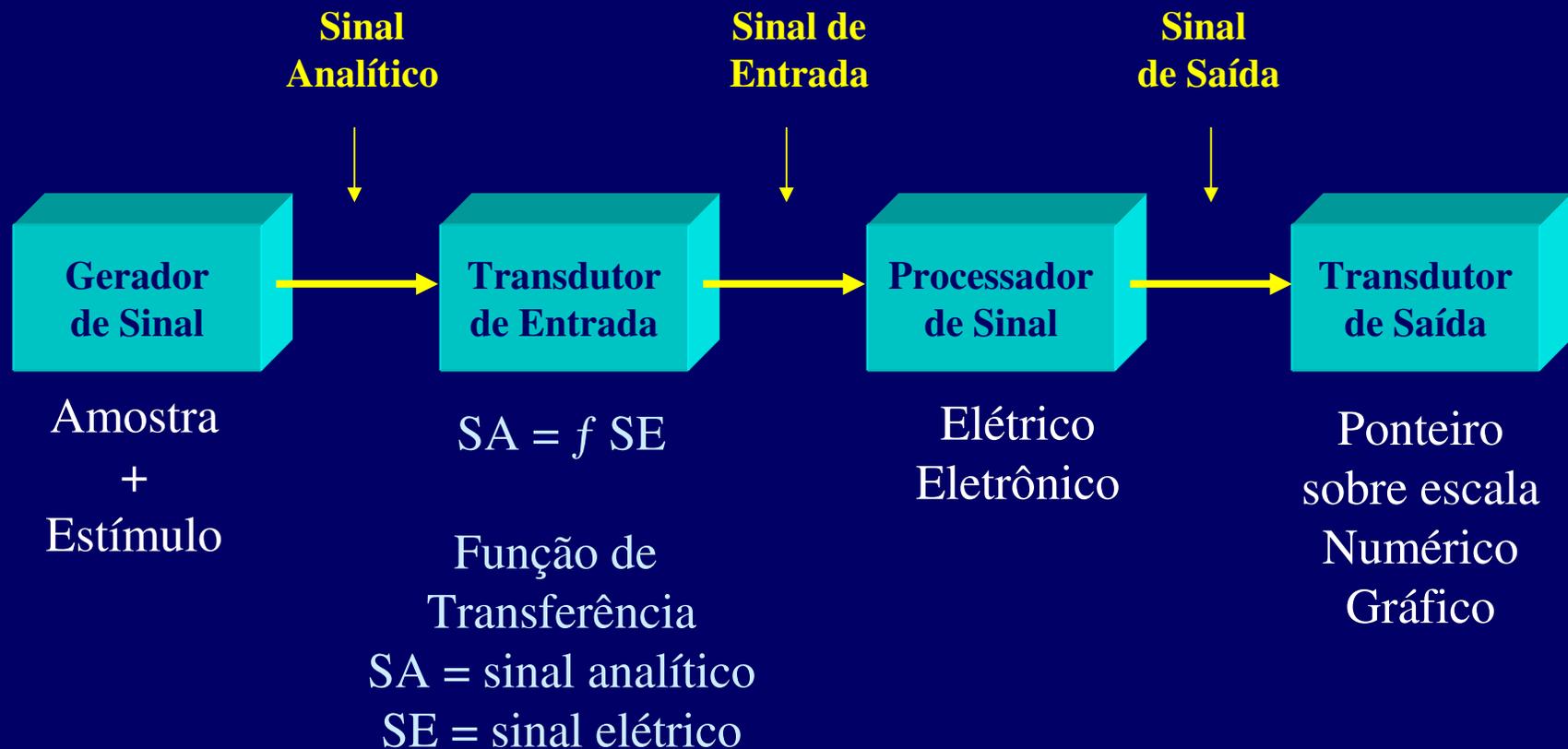
GIA

- Converte um sinal analítico para uma forma possível de ser compreendido pelo analista
- Dispositivo de comunicação entre o sistema em estudo e o analista
- Para obter a informação desejada é necessário fornecer um estímulo.
  - Energia Eletromagnética, Elétrica, Mecânica ou Nuclear

# Componentes Básicos de Instrumentos

GIA

## Processo de medida



# Domínio de dados

GIA

O processo de medida é composto por uma variedade de dispositivos que convertem informações de uma forma a outra.

Formas de codificar (representar) as informações

Características física ou químicas

Sinais elétricos

Corrente

Diferença de potencial

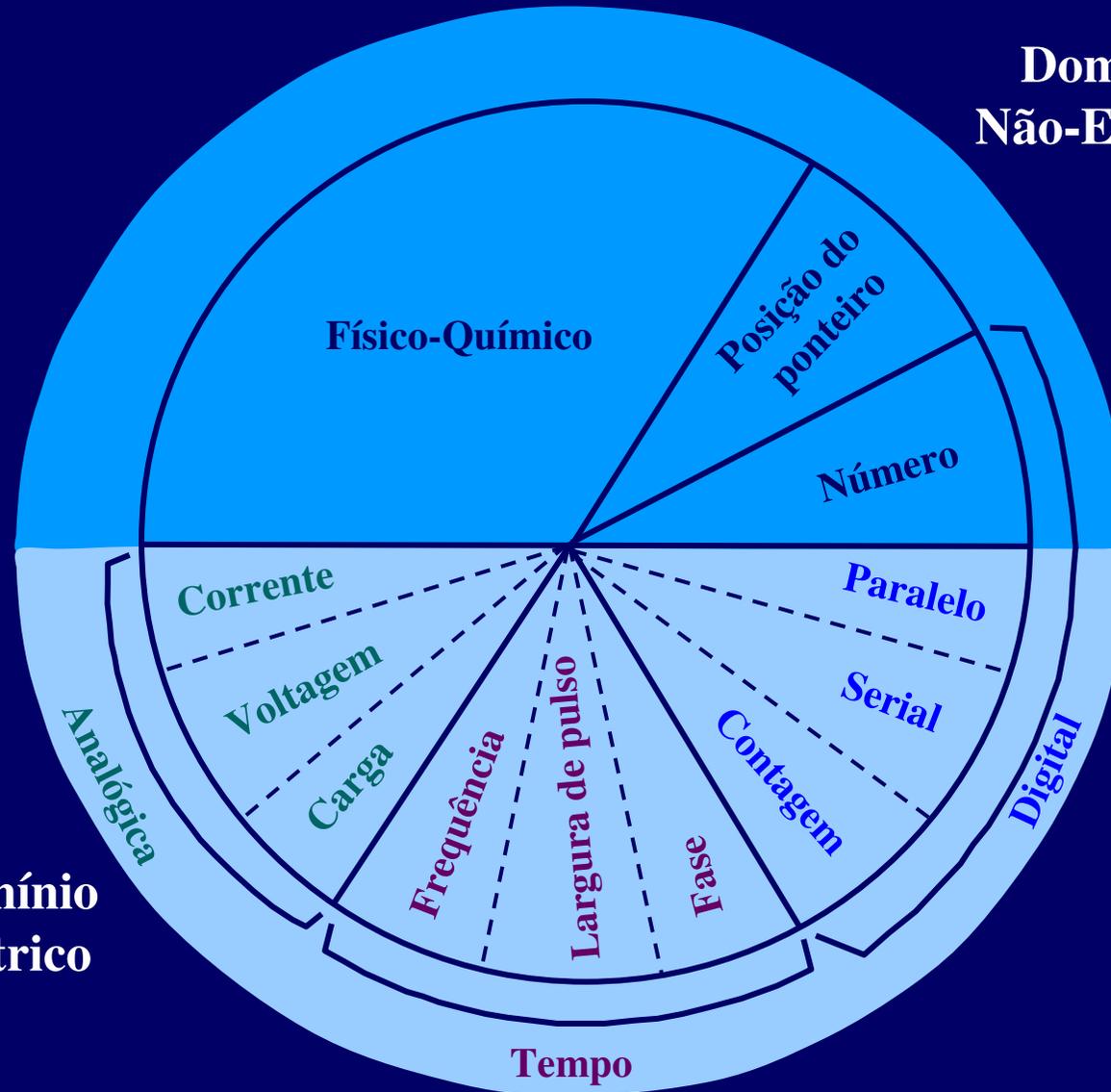
Carga

As várias formas de codificar as informações são denominadas de Domínio de Dados

# Domínio de dados

GIA

Domínio  
Não-Elétrico

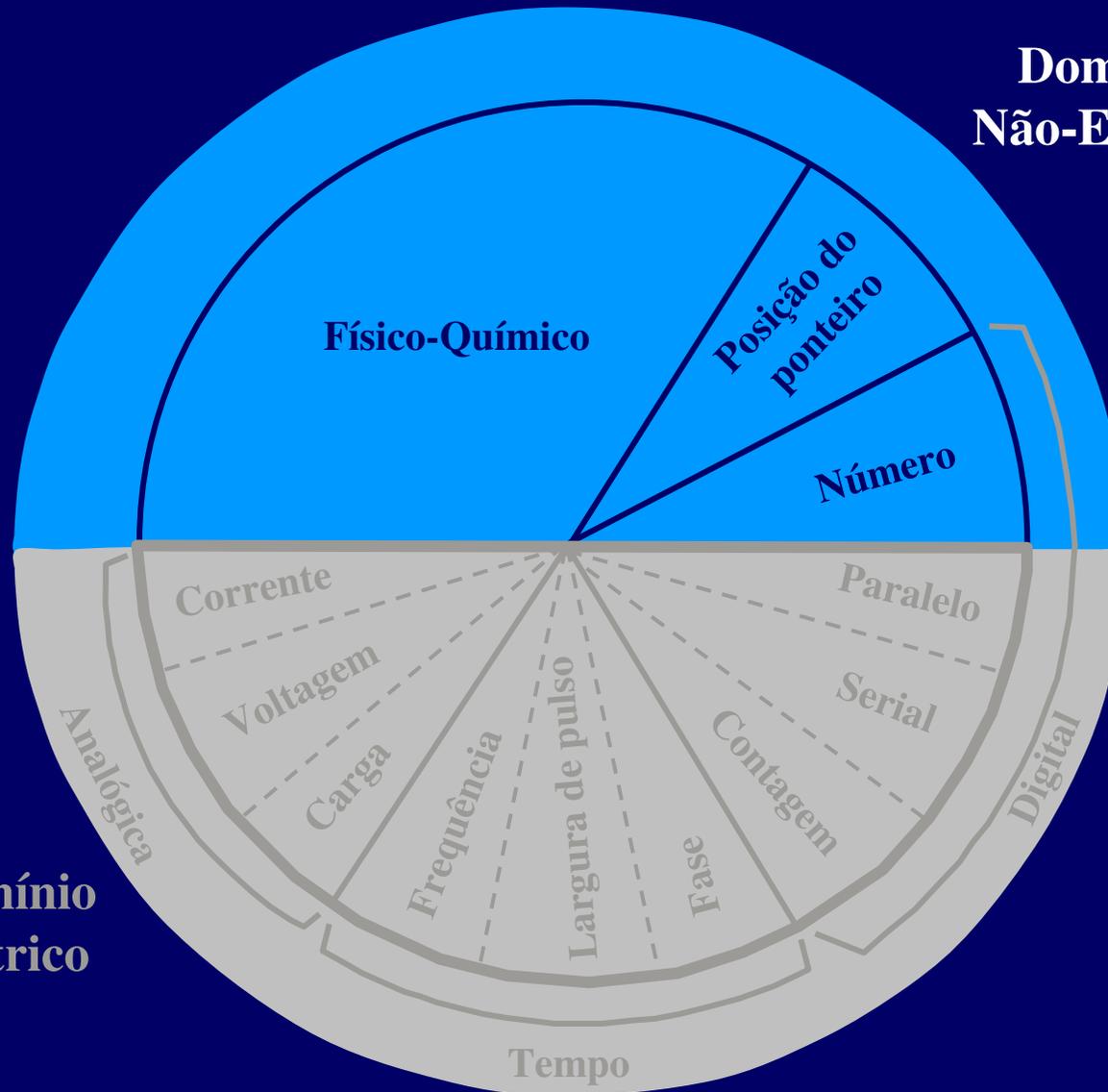


Domínio  
Elétrico

# Domínio Não-Elétrico

GIA

Domínio  
Não-Elétrico



Domínio  
Elétrico

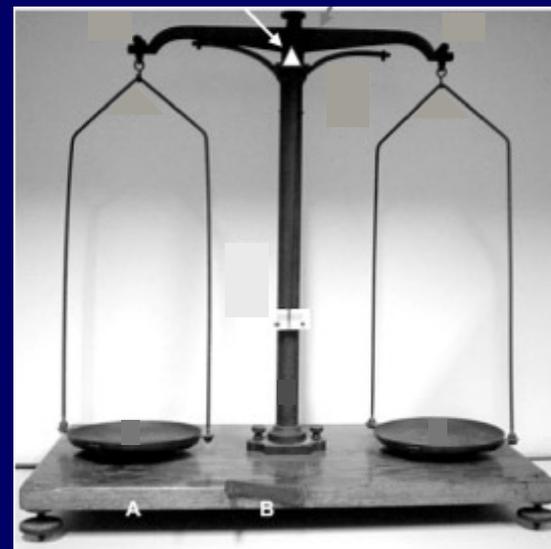
# Domínio Não-Elétrico

GIA

O processo de medida inicia e termina em domínios não elétricos

As formas de codificar as informações no domínio não-elétrico são divididas em Físico-Química, Posição de um ponteiro e Número

## Determinação de Massa

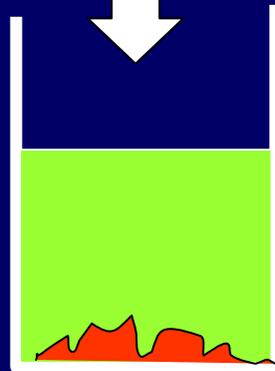
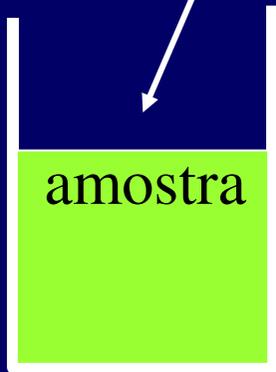


Comparação da massa do objeto com massas padrão

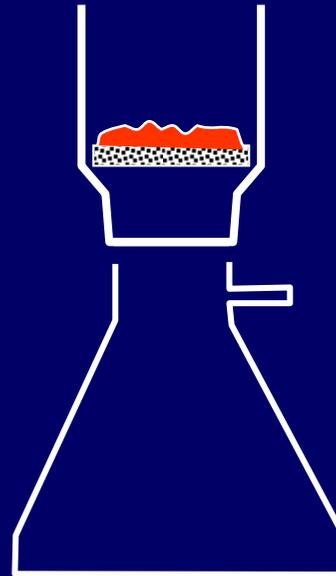
# Domínio Não-Elétrico

GIA

Agente precipitante



Precipitação

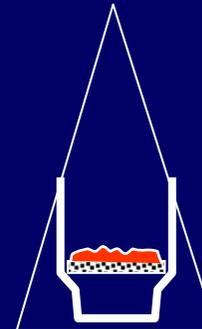


Separação  
filtração

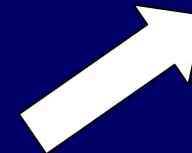
Secagem/calцинаção



Pesagem



Cálculos

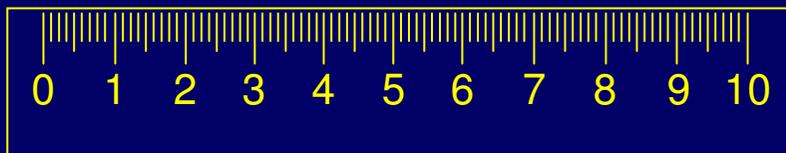


# Domínio Não-Elétrico

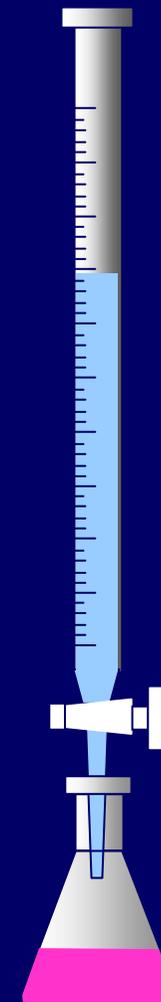
GIA



Medida de comprimento



Medida de Volume



Posição do Ponteiro



Físico - Químico  
Mudança de cor do indicador

# Domínio Não-Elétrico

GIA

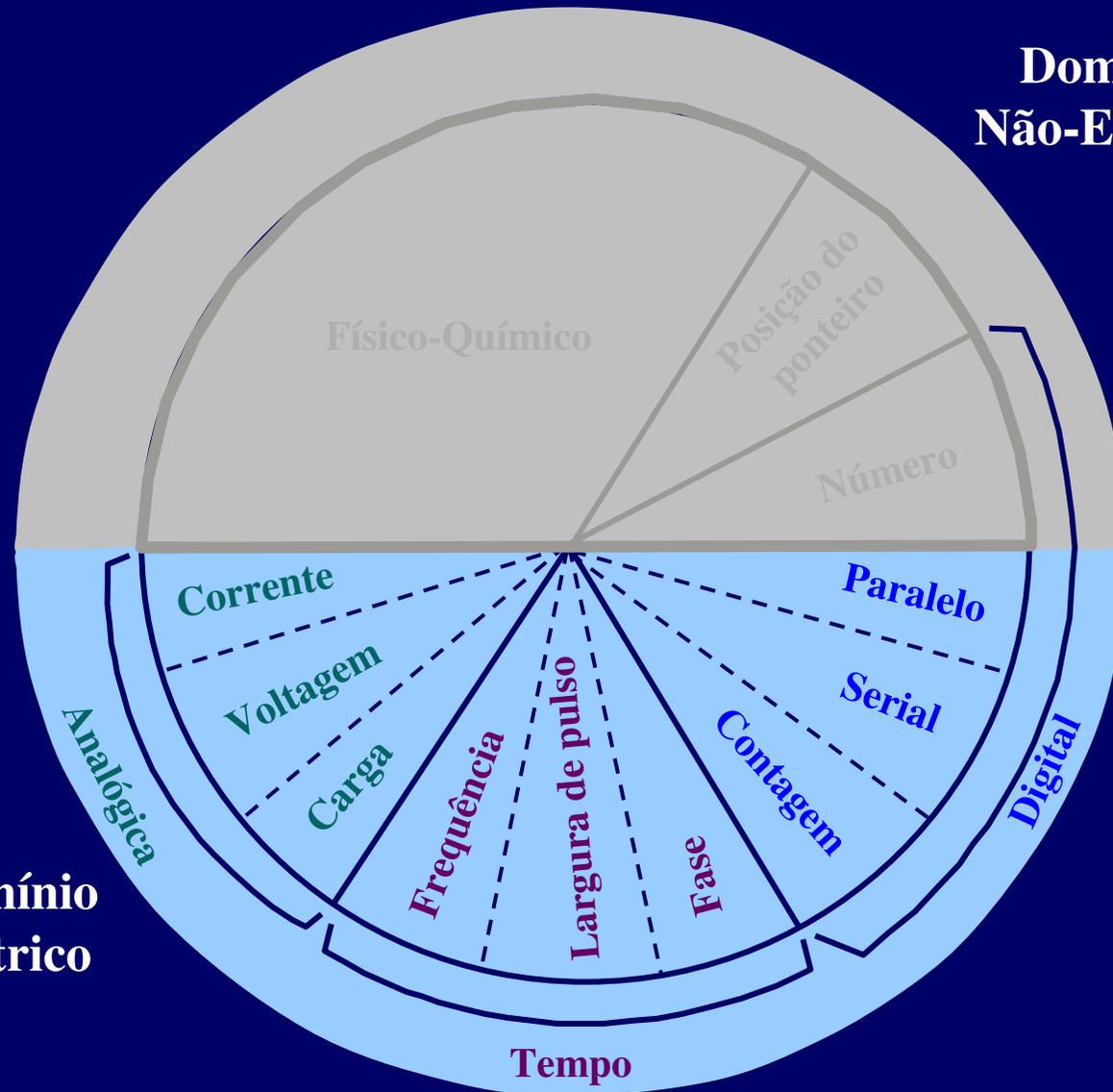
Número



# Domínio Elétrico

GIA

Domínio  
Não-Elétrico



Domínio  
Elétrico

Tempo

# Domínio Elétrico



GIA

As formas de codificar as informações no domínio elétrico são subdivididas em Analógico, Tempo e Digital

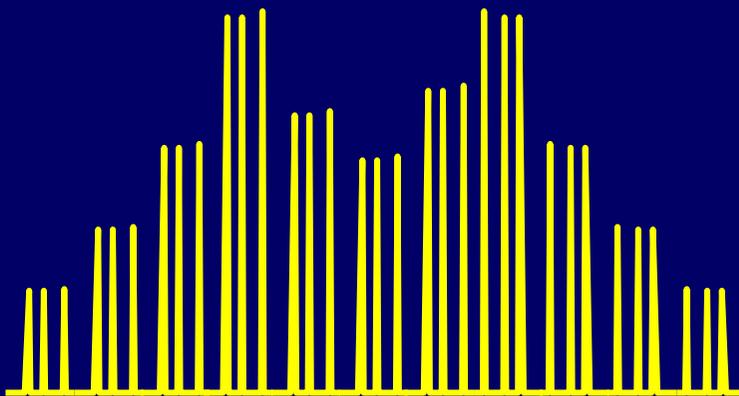
O domínio digital é constituído de sinais elétrico e não-elétrico uma vez que os números apresentados em qualquer tipo de mostrador (display) constitui uma informação digital

# Domínio Analógico

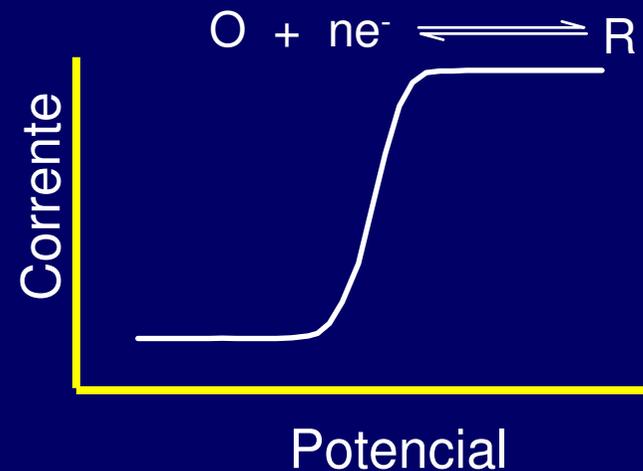
GIA

As informações no domínio analógico está codificadas como a magnitude de uma quantidade elétrica, diferença de potencial, corrente, carga ou potência.

Quantidades contínuas em amplitude e no tempo



Fiagrama



Voltamograma

# Domínio Analógico



Ruído influenciam a magnitude de sinais elétricos e, portanto, os sinais analógicos

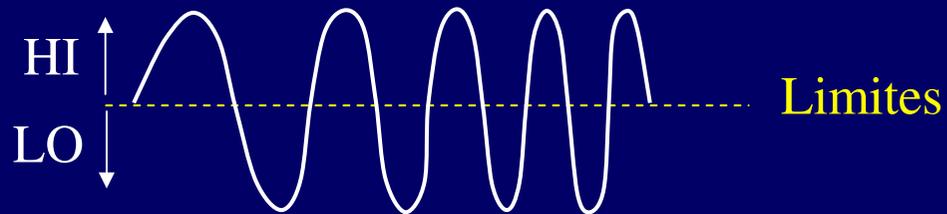
Ruído resultam de interações dentro do circuito de medida ou através de outros dispositivos elétricos na vizinhanças

Ruído não apresenta qualquer relação com a informação de interesse e existem diversos métodos para minimizar os seu efeitos

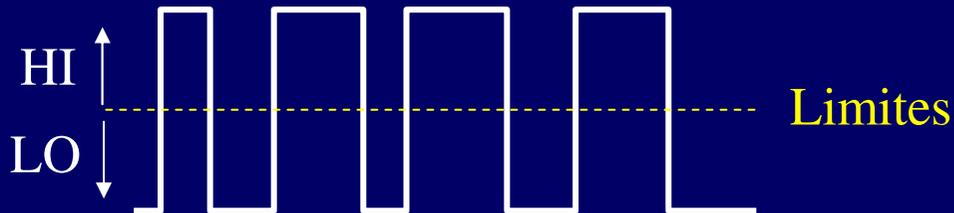
# Domínio Tempo

GIA

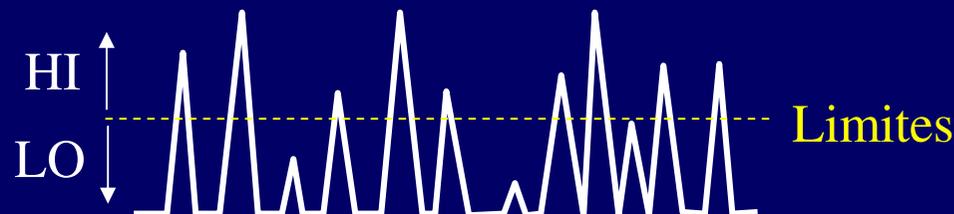
No domínio do tempo as informações são armazenadas em função do tempo



Espectroscopia Raman  
Ativação de Neutro



Frequência de fótons que  
atinge o detector está  
relacionada a concentração  
do analito

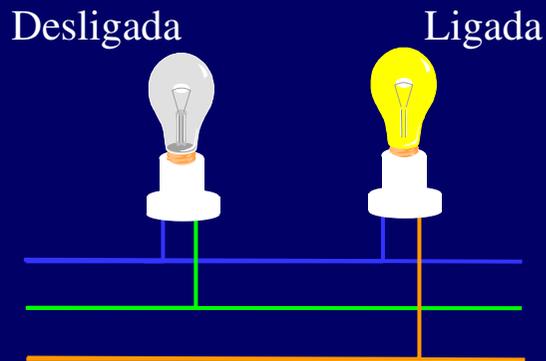


# Domínio Digital

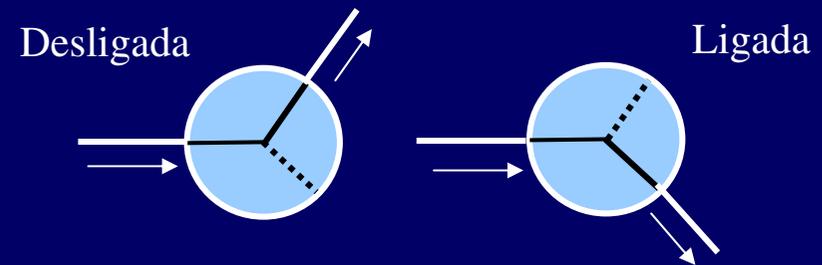
GIA

No domínio digital as informações são codificadas em dois níveis

Estado de uma lâmpada

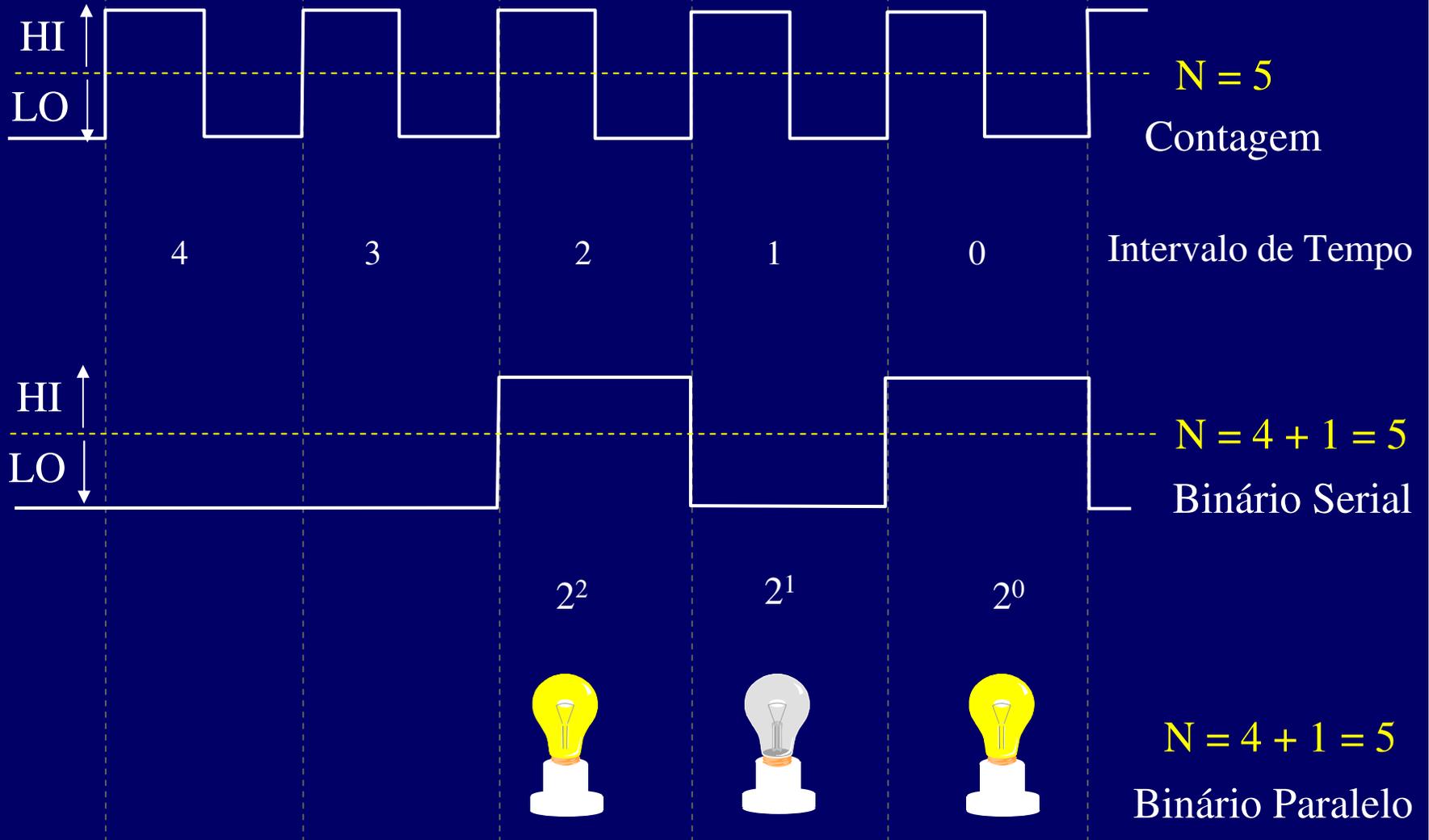


Estado de uma válvula solenóide



Tanto para a lâmpada como para a válvula só existem dois estados possíveis, ligado ou desligado

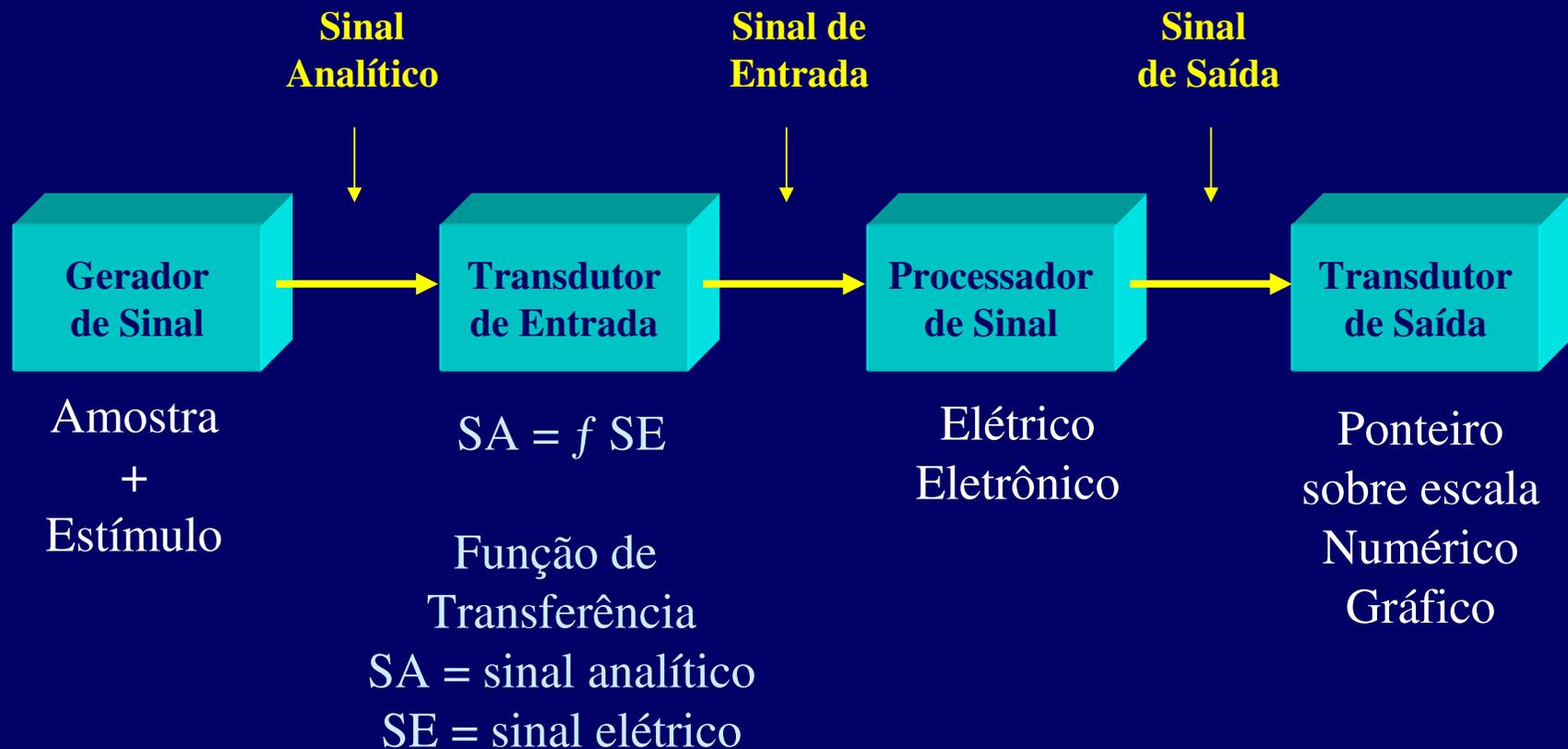
# Domínio Digital



# Componentes Básicos de Instrumentos

GIA

## Processo de medida



# Componentes Instrumentais

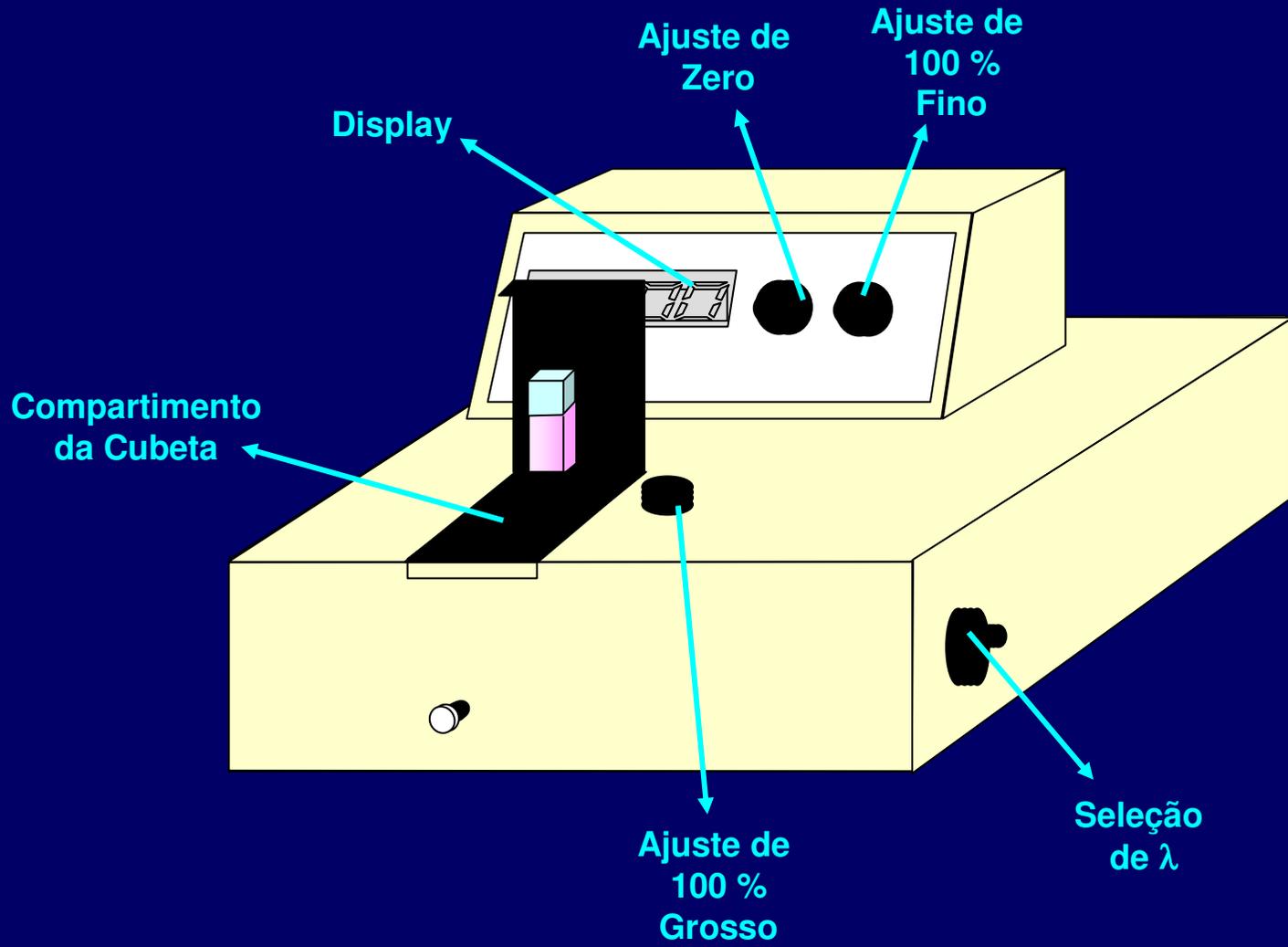
GIA

Instrumento	Gerador de Sinal	Sinal Analítico	Transdutor de Entrada	Sinal de Entrada	Processador de Sinal	Sinal de Saída	Transdutor de Saída
<u>Fotômetro</u>	Lâmpada Amostra	Atenuação da Luz	Fotocélula	Corrente Elétrica	Nenhum	Corrente Elétrica	Amperímetro
Fotometria chama	Chama Amostra	Radiação UV/Visível	Fotomultiplicadora	Corrente Elétrica	Conversor C/V	Potencial Elétrico	Display Digital
<u>Potenciostato</u>	Fonte DC Amostra	Reação Redox	Eletrodos	Corrente Elétrica	Conversor C/V	Potencial Elétrico	Registrador
<u>pHmetro</u>	Amostra	Atividade de H <sup>+</sup>	Eletrodo de Vidro	Potencial Elétrico	Amplificador	Potencial Elétrico	Display Digital
<u>Condutometria</u>	Corrente Alternada Amostra	Mobilidade Iônica	Eletrodos de Platina	Resistência	Ponte de Wheatstone	Potencial Elétrico	Display Analógico
Difratograma de Raios-X	Tubo de Raios-X Amostra	Radiação Difratada	Filme Fotográfico	Imagem Latente	Desenvolvimento Químico	Imagem	Imagem sobre o filme

Sequência

# Espectrofotômetro

GIA



# Espectrofotômetro



Compartimento do  
Circuito Eletrônico

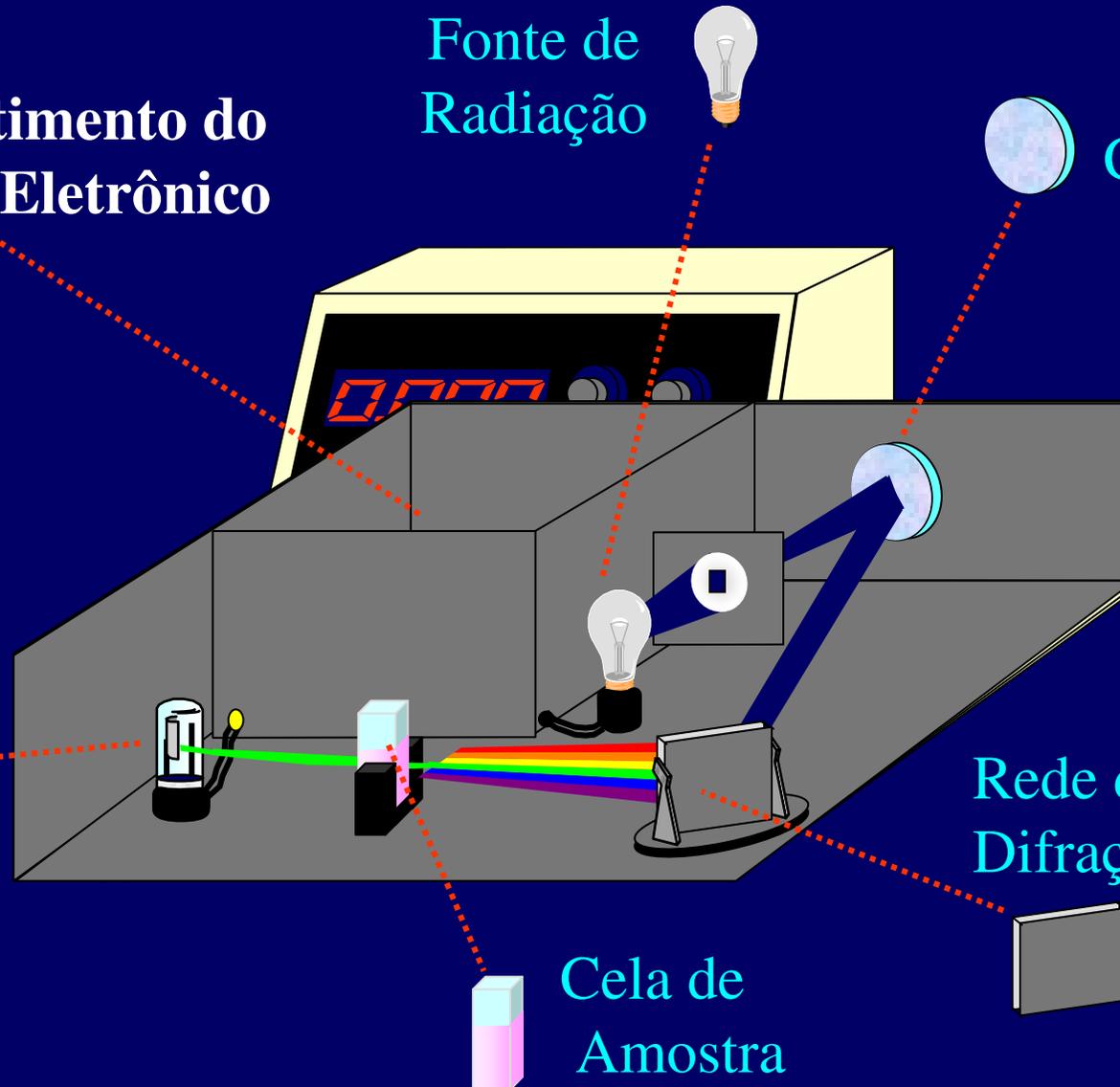
Fonte de  
Radiação

Espelho  
Colimador

Detector

Cela de  
Amostra

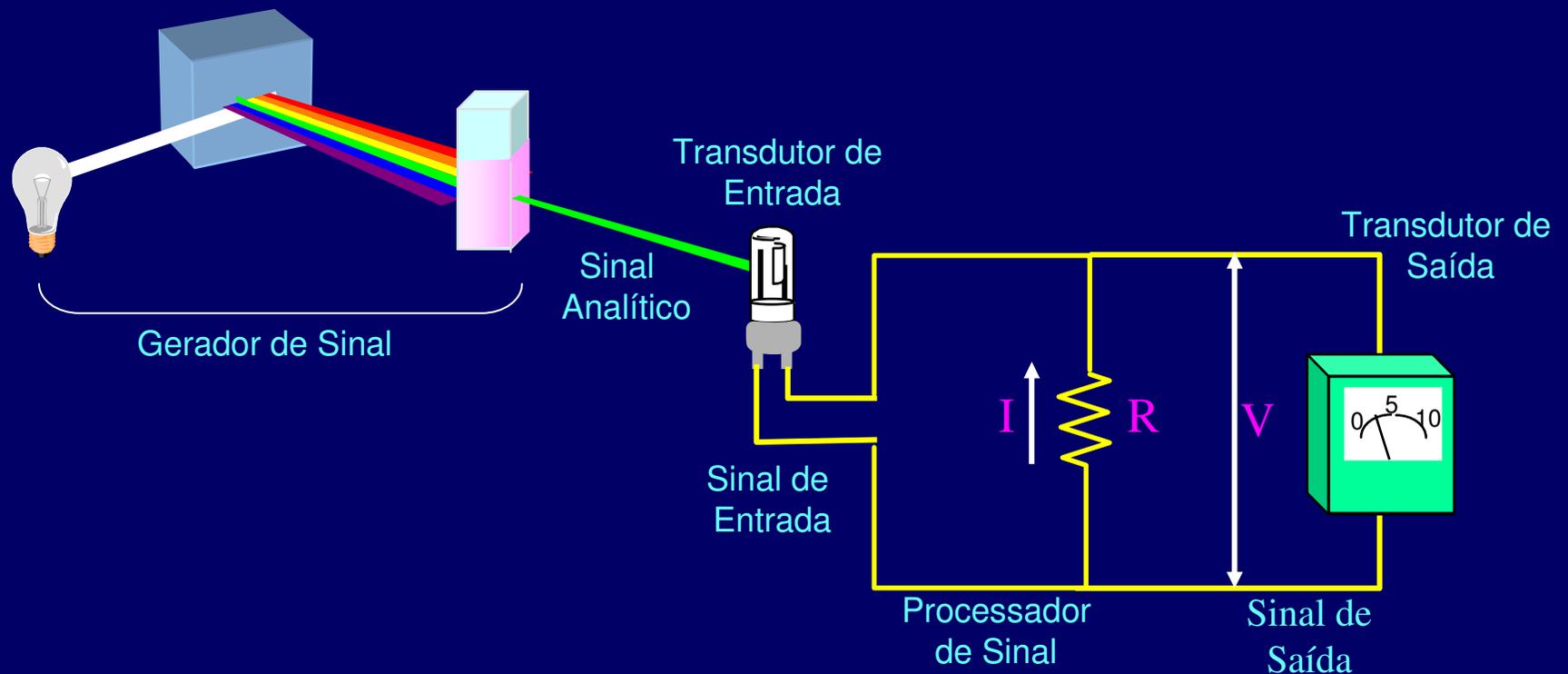
Rede de  
Difração



# Espectrofotômetro

GIA

Processo de medida inicia e termina em domínios não elétricos



Estímulo Radiação  
Eletromagnética

Atenuação  
Radiação

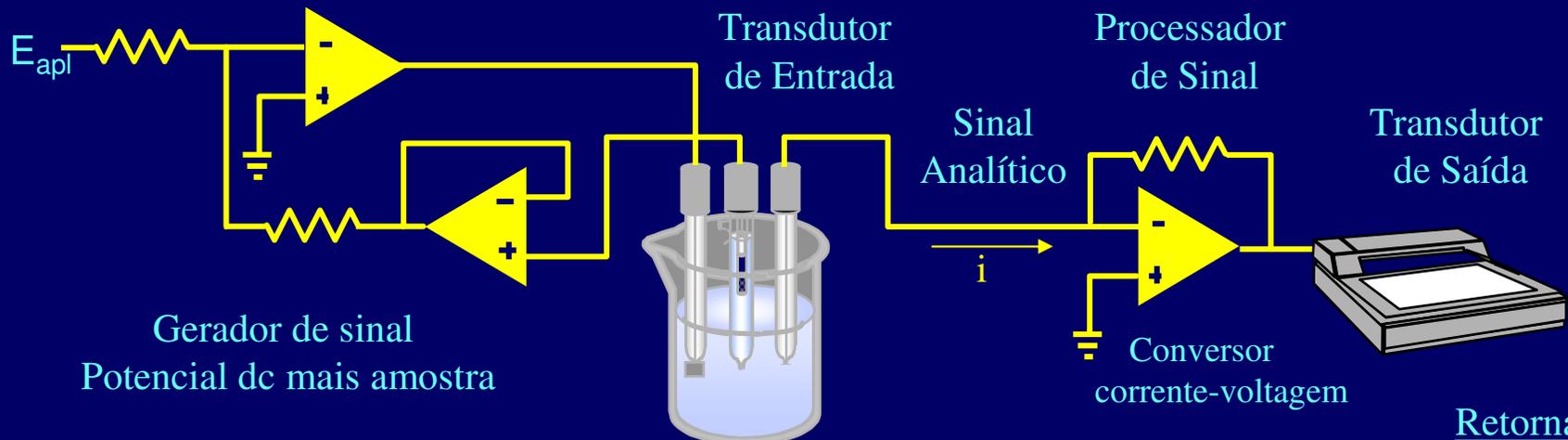
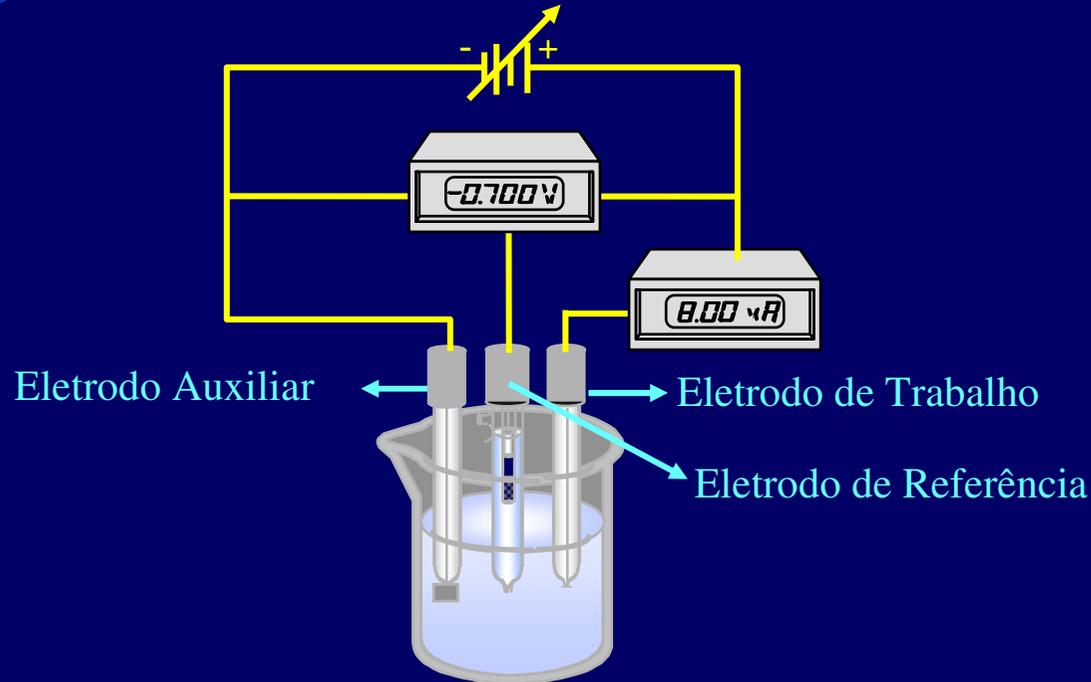
Conversão Radiação  
em Corrente Elétrica

$E = RI$

Posição  
do ponteiro

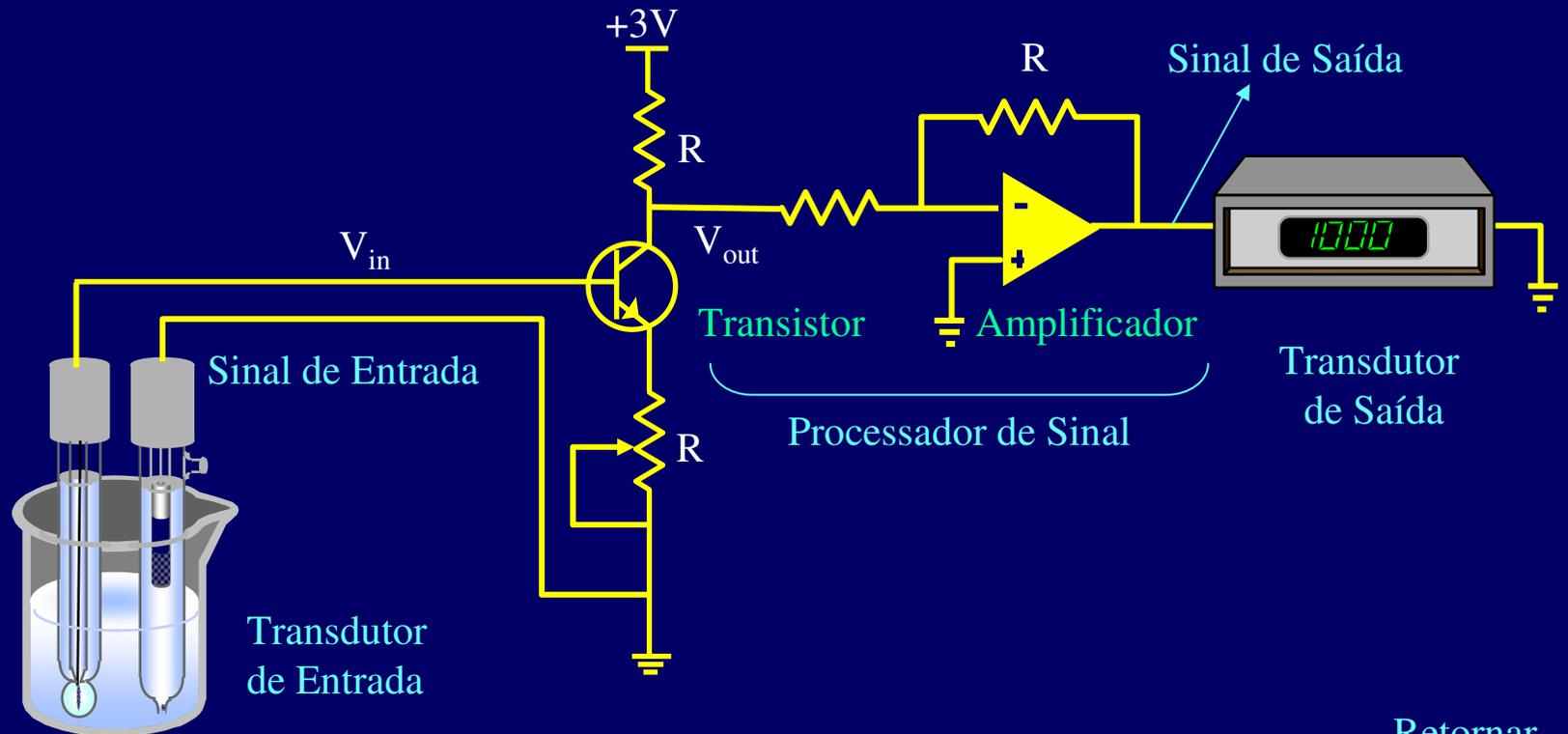
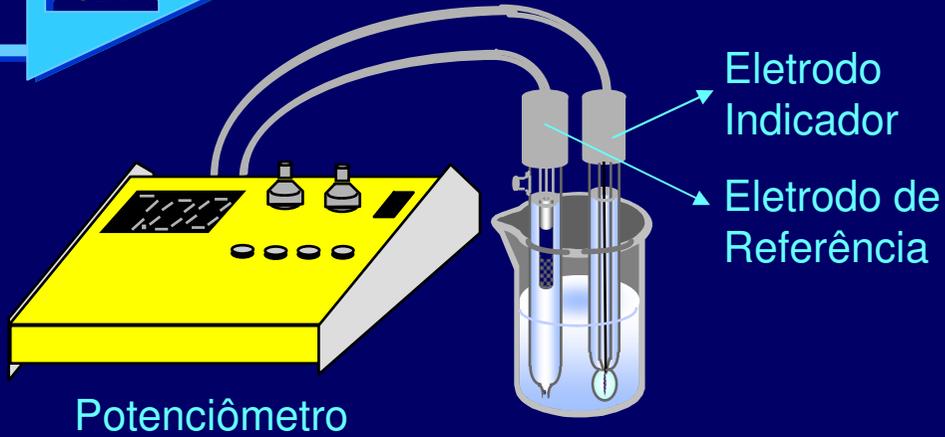
[Retornar](#)

# Voltametria



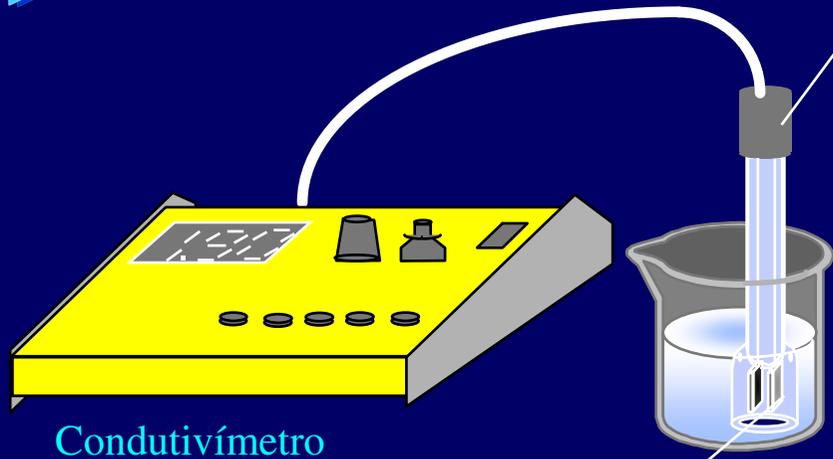
[Retornar](#)

# Potenciometria



[Retornar](#)

# Condutometria

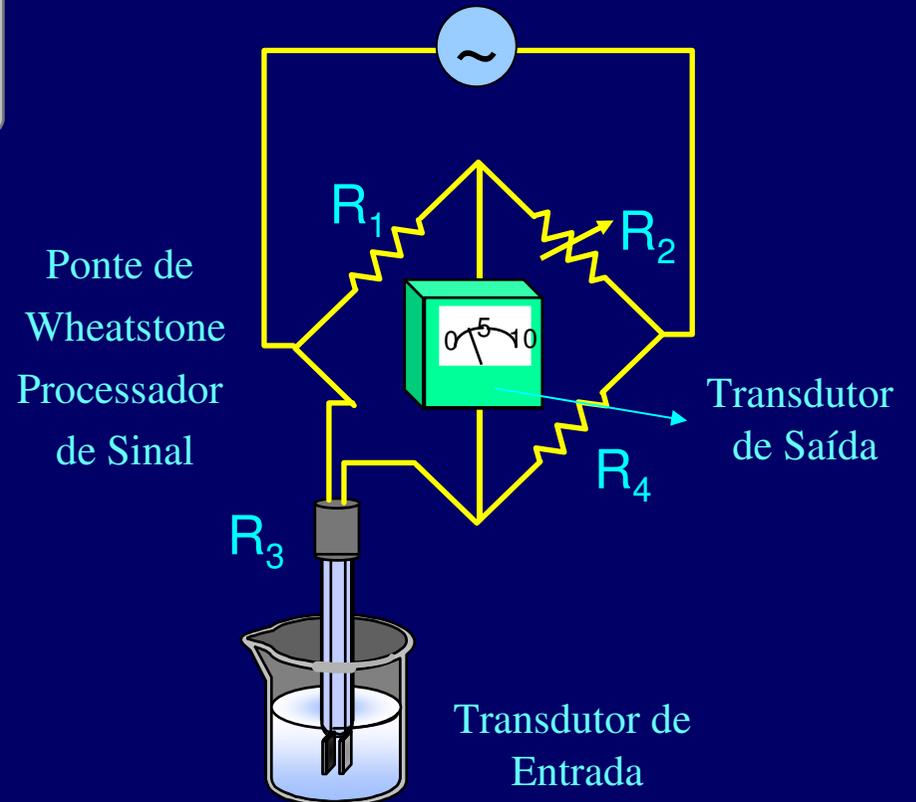


Conduvímetero

Placas de platina Platinizada

Eletrodo

Fonte de Corrente Alternada 60 a 1000 Hz



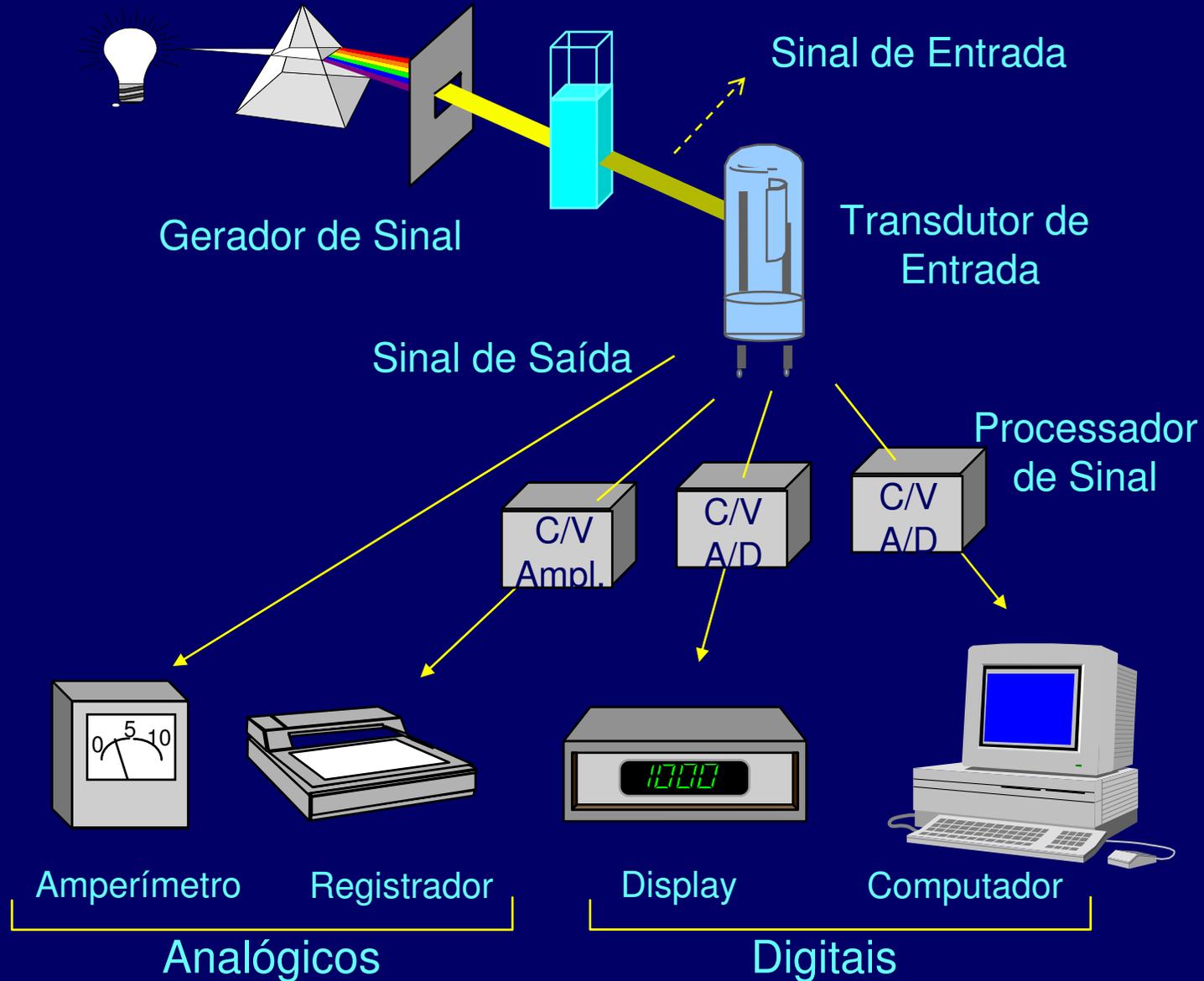
Ponte de Wheatstone  
Processador de Sinal

Transdutor de Saída

Transdutor de Entrada

# Transdutores Anlógicos e Digitais

GIA





GIA

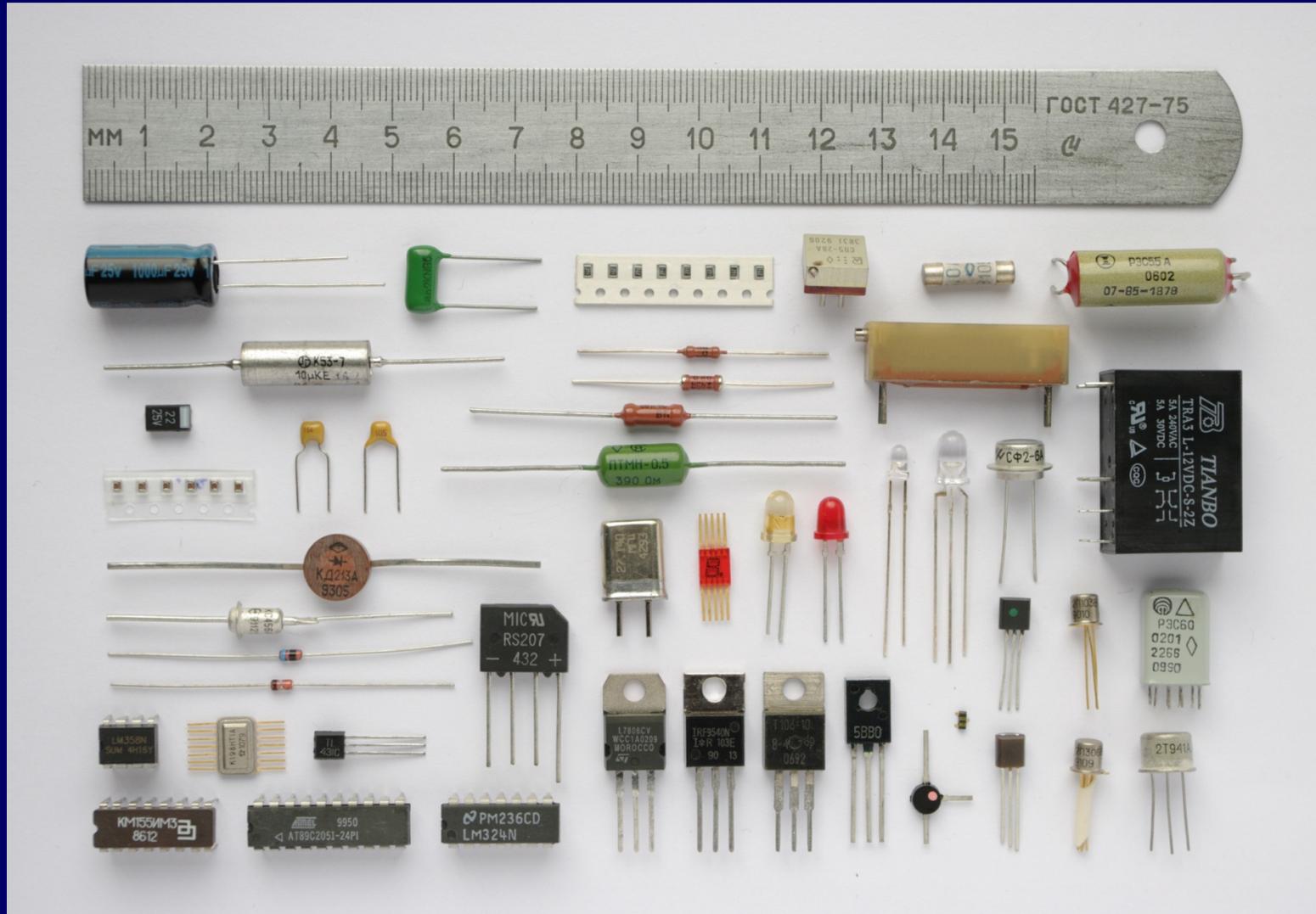
# **Eletrônica Analógica Aplicada a Instrumentação Analítica**

Grupo de Instrumentação e Automação em  
Química Analítica

-Instituto de Química-  
-UNICAMP-

# Componentes Eletrônicos

GIA



# Circuitos Elétricos

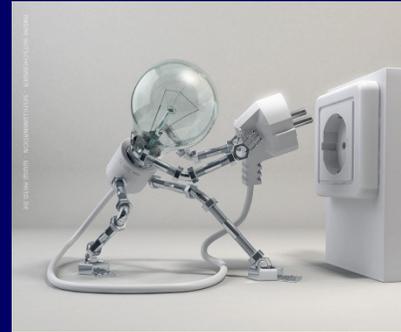
GIA

Um circuito elétrico é composto basicamente por três elementos:

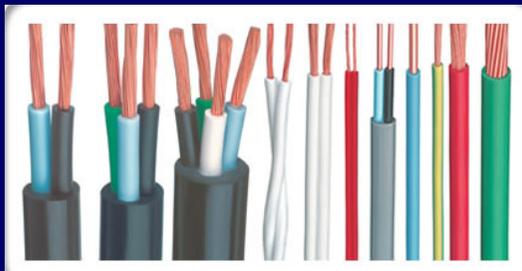
## Gerador ou fonte



## Dispositivo de Carga



## Condutores



# Circuitos Eléctricos

GIA

**FONTE**

Orienta o movimento dos elétrons

**CONDUTOR**

Assegura a transmissão da corrente elétrica.

**CARGA**

Utiliza a corrente elétrica (transforma em trabalho)

# Circuitos de Elétricos



GIA

Um circuito é um caminho fechado que pode ser percorrido por uma corrente elétrica

Estes circuitos podem ser empregados para realizar medidas de corrente, diferença de potencial ou resistência

Quatro leis da eletricidade explicam os fenômenos observados nestes circuitos

Lei Ohm

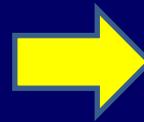
Lei das correntes de Kirchhoff

Lei da tensão de Kirchhoff

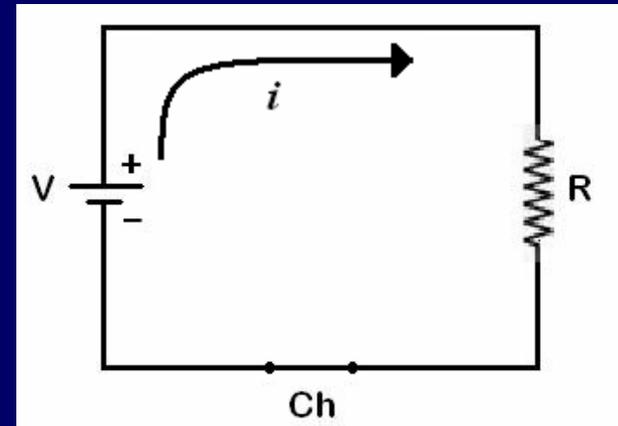
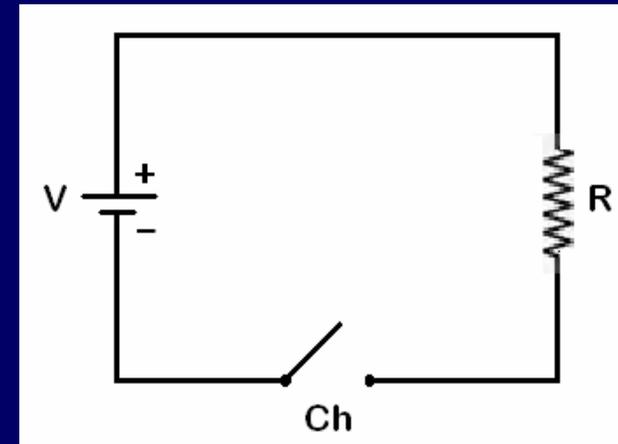
Lei da Potência

# Circuitos de Eléctricos

GIA



CIRCUITO ABERTO  $i = 0$



CIRCUITO FECHADO  $i \neq 0$

# Lei de Ohm

GIA

George S. Ohm

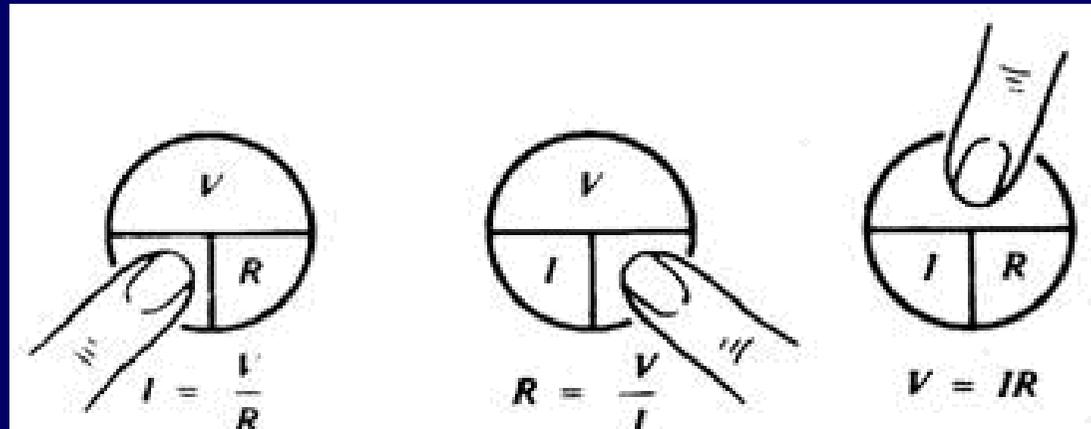
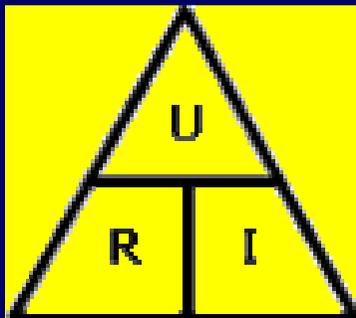


Enunciado:

“A diferença de potencial entre os terminais de um circuito é igual ao produto da resistência desse circuito pela intensidade da corrente elétrica que passa por tal circuito”

$$V = RI$$

A lei de OHM estabelece as relações matemáticas entre as grandezas fundamentais da eletricidade: a corrente, a resistência e a tensão.

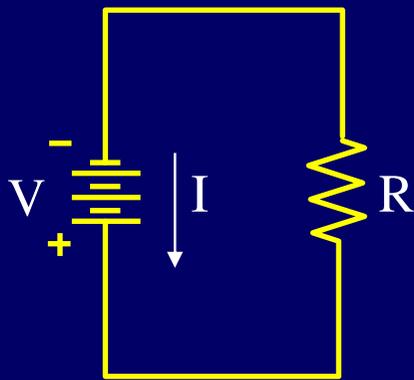


# Lei de Ohm

GIA

Descreve a relação entre a *Diferença de Potencial* \*, *Resistência* e *Corrente* em um circuito resistivo

\* É comum o uso de *Potencial*, *Voltagem* ou *Tensão* no lugar de *Diferença de Potencial*



$$V=RI$$

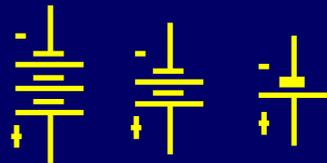
**V** = Potencial entre dois pontos do circuito em volts (V)

**R** = Resistência entre dois pontos do circuito em ohms ( $\Omega$ )

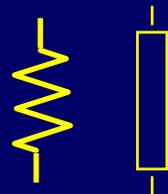
**I** = Corrente que flui pelo circuito em ampères (A)

## Símbolos

Fonte DC



Resistor



## Exemplo

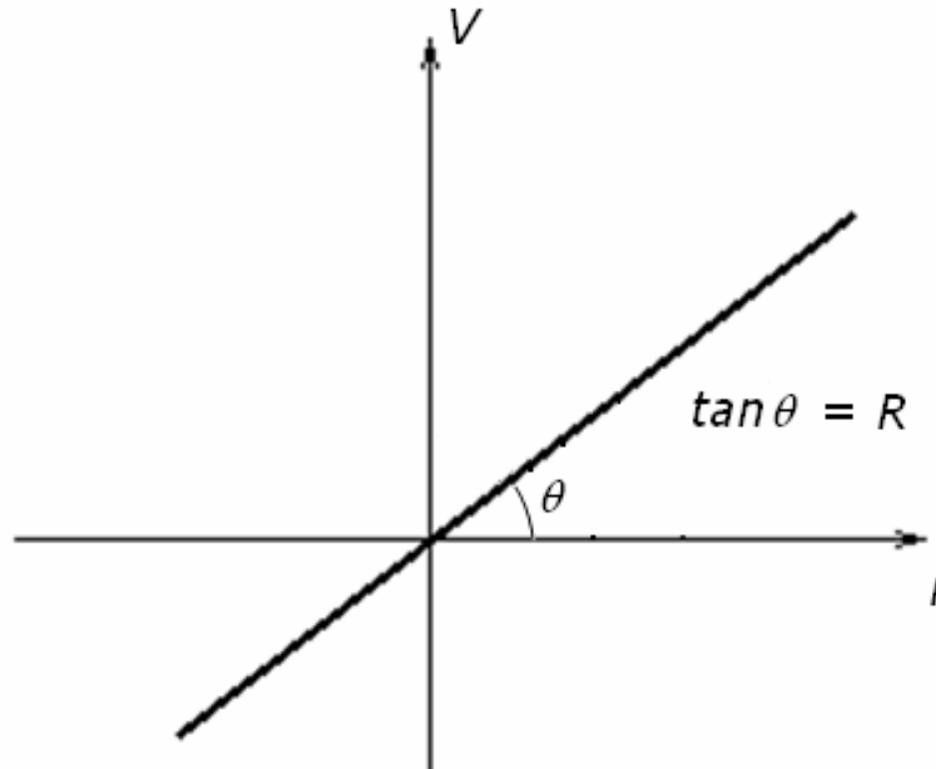
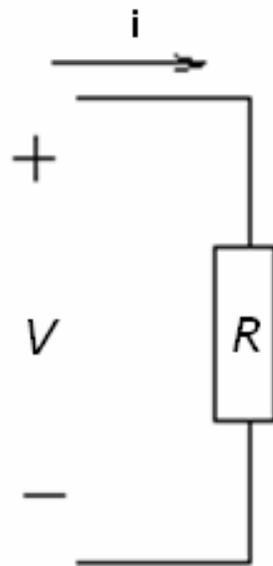
Se  $V = 12 \text{ V}$  e  $R = 470 \Omega$   $I = ?$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{470} = 0,0255 \text{ A} = 25,5 \text{ mA}$$

# Lei de Ohm

GIA

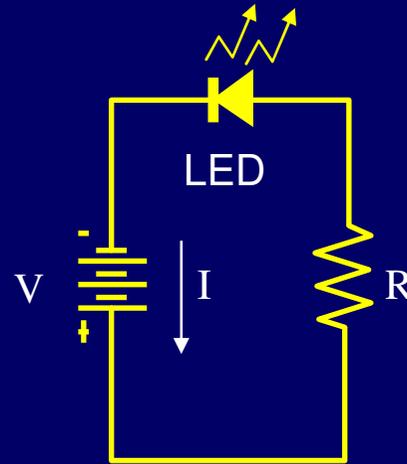
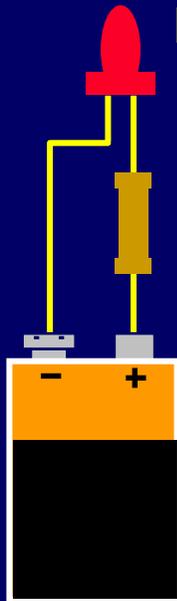
## Lei de Ohm



# Fonte de Radiação



LED Light Emitter Diode (diodo emissor de luz)



Corrente máxima que pode  
fluir pelo LED 30 mA

Fonte 9 V

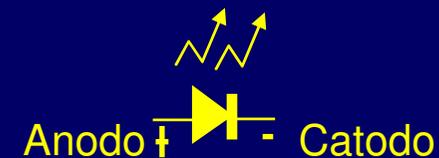
R = ?

$$R = \frac{9}{0,03} = 300 \Omega$$

Símbolo



Polaridade

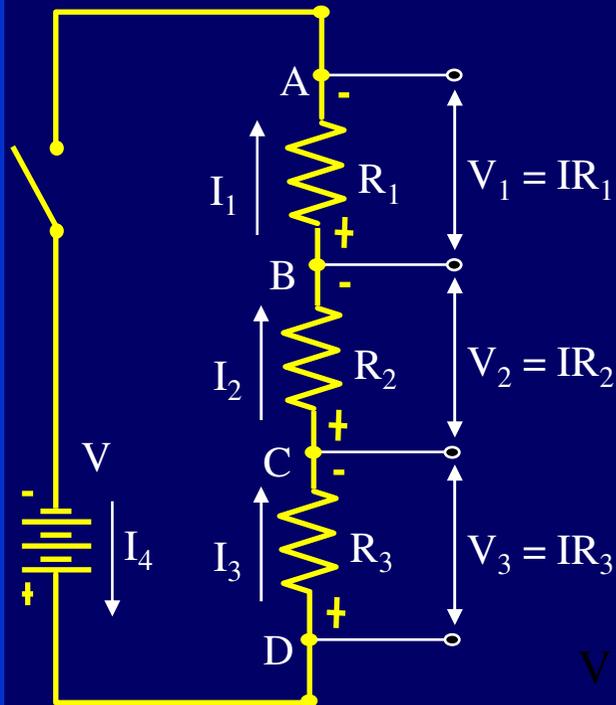


# Leis de Kirchhoff

GIA

A soma algébrica das correntes em um ponto do circuito é zero

A soma algébrica da voltagem em um ponto de um circuito fechado é zero



Corrente em um circuito em série

$$D: I_4 - I_3 = 0 \text{ ou } I_4 = I_3$$

$$C: I_3 - I_2 = 0 \text{ ou } I_3 = I_2$$

$$B: I_2 - I_1 = 0 \text{ ou } I_2 = I_1$$

$$A: I_1 - I_4 = 0 \text{ ou } I_1 = I_4$$

$$I = I_4 = I_3 = I_2 = I_1$$

Voltagem entre cada ponto do circuito

$$V - V_1 - V_2 - V_3 = 0$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$V = IR_{eq}$$

$$V_1 = I_1 R_1 = IR_1$$

$$\frac{V_1}{V} = \frac{IR_1}{I(R_1 + R_2 + R_3)} = \frac{R_1}{R_{eq}}$$

$$V_1 = V \frac{R_1}{R_{eq}}$$

Símbolo

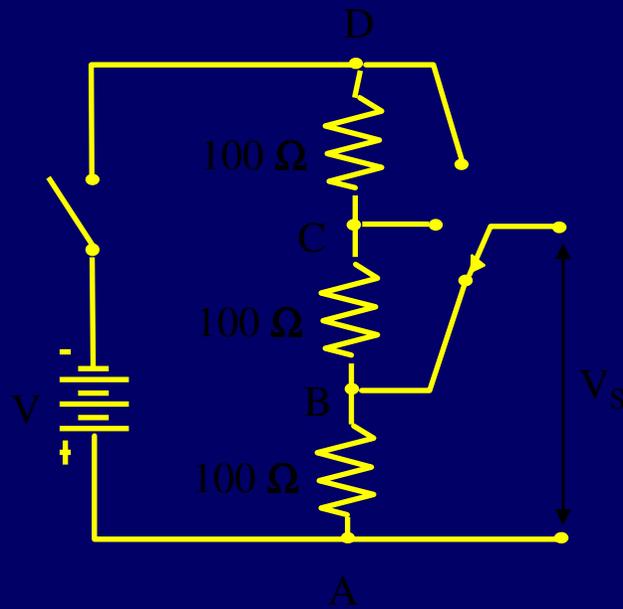
Chave



# Leis de Kirchhoff

GIA

## DIVISOR DE TENSÃO



Ponto AB

$$V_S = V \times \frac{R_{AB}}{R_{eq}} = 9 \times \frac{100}{300} = 3 \text{ V}$$

Ponto AC

$$V_S = V \times \frac{R_{AC}}{R_{eq}} = 9 \times \frac{200}{300} = 6 \text{ V}$$

Ponto AD

$$V_S = V \times \frac{R_{AD}}{R_{eq}} = 9 \times \frac{300}{300} = 9 \text{ V}$$

Símbolo

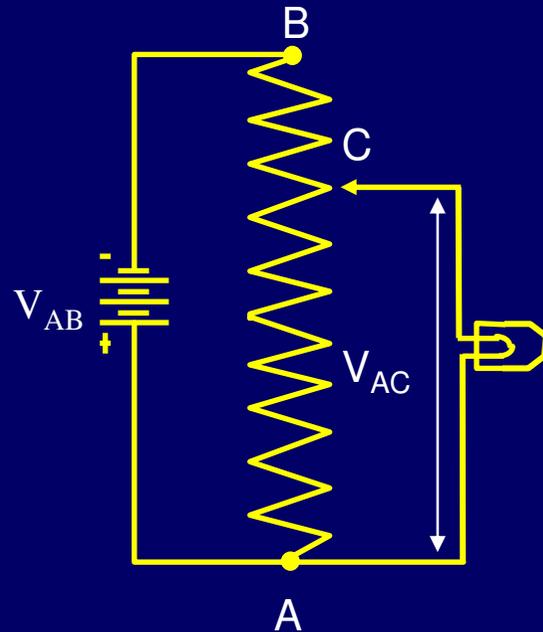
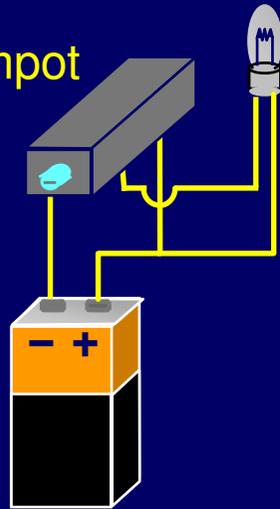
Chave Seletora



# Leis de Kirchhoff

GIA

Trimpot



## RESISTOR VARIÁVEL

$$R_{AB} = K(AB)$$

$K$  = cte proporcionalidade

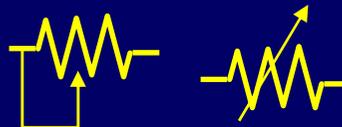
$AB$  = comprimento do resistor total

$AC$  = comprimento do resistor utilizado p/ lâmpada

$$V_{AC} = V_{AB} \times \frac{R_{AC}}{R_{AB}}$$

*Símbolo*

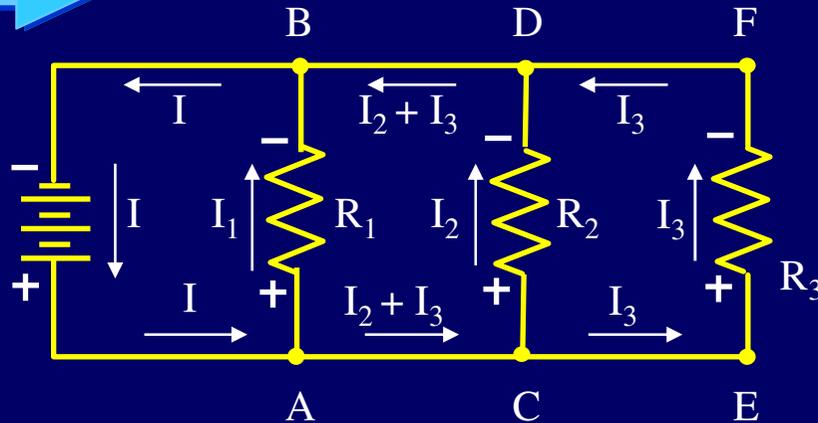
Resistor Variável



Lâmpada



# Leis de Kirchhoff



Corrente para um circuito em paralelo

$$I_1 + I_2 + I_3 - I = 0$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}}$$

Voltagem para um circuito paralelo

Para AB:  $V_1 = I_1 R_1$

Para CD:  $V_2 = I_2 R_2$

Para EF:  $V_3 = I_3 R_3$

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

Corrente entre cada ponto

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{V}{R_1}$$

$$\frac{I_1}{I} = \frac{V/R_1}{V/R_{eq}} = \frac{R_1}{R_{eq}}$$

$$I_1 = I \frac{R_1}{R_{eq}}$$

# Lei da Potência

GIA

A potência dissipada por um elemento resistivo é dado pelo produto da corrente em ampères e pela diferença de potencial em volts

$$P = VI$$

$P$  = potência em watts (W) ou em joules por segundo ( $J s^{-1}$ )

Substituindo a Lei de Ohm:  $P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$

Potência é usada para expressar a energia dissipada na forma de calor (resistor), o trabalho mecânico (motores), a energia radiante (lâmpadas) ou a energia estocada (baterias ou capacitores)

$P = ?$

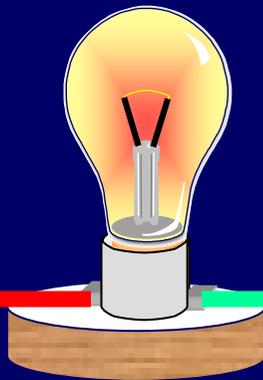
Se a corrente que flui por uma lâmpada é de 0,75 A e a Voltagem é de 9 V.

$$P = 0,75 \times 9 = 6,75 \text{ W}$$

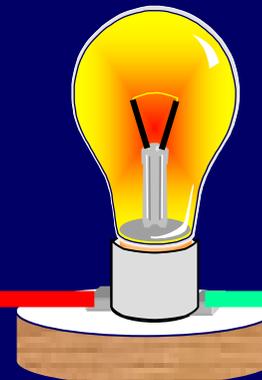
# Potência

GIA

60 W



100 W

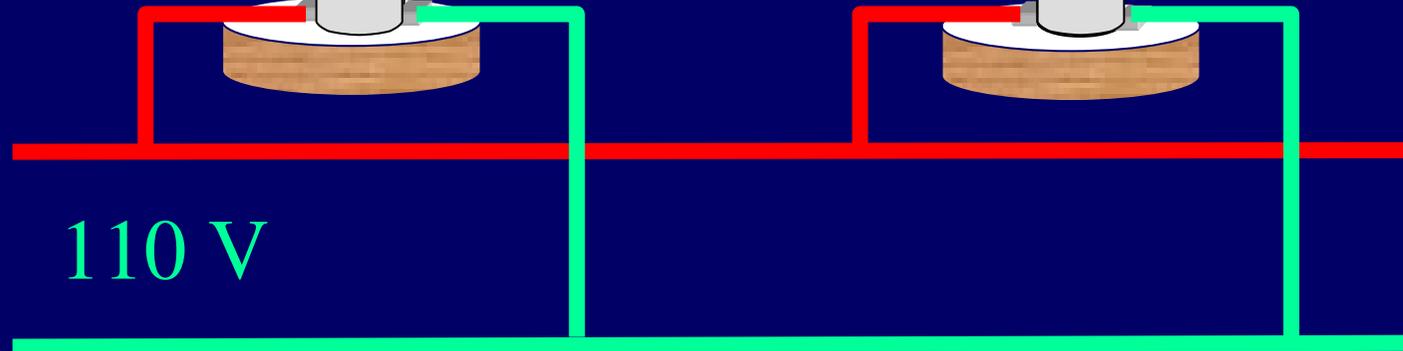


$$I_1 < I_2$$

110 V

$I_1$

$I_2$

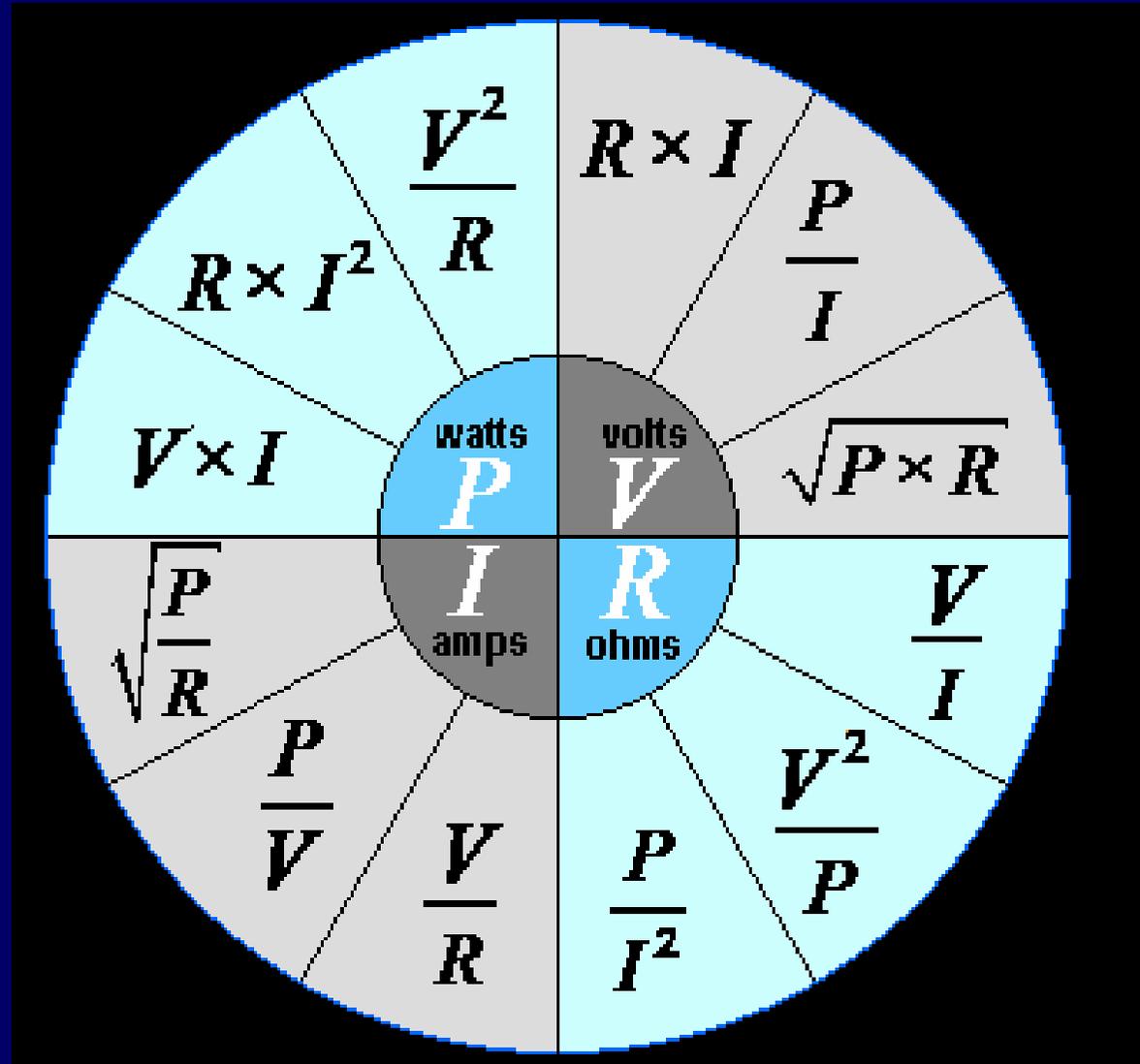


# Relações entre lei de Ohm e potência

GIA

$$V = RI$$

$$P = VI$$



# Potência/hora

GIA

## Energia Elétrica



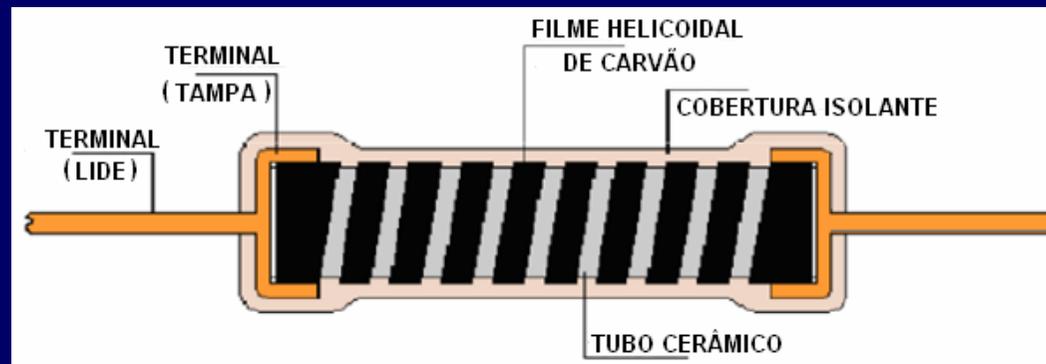
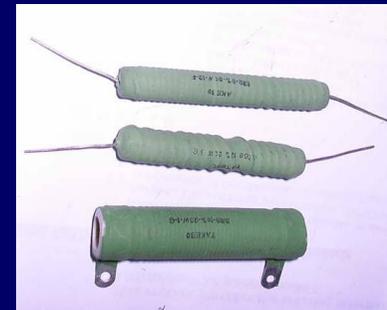
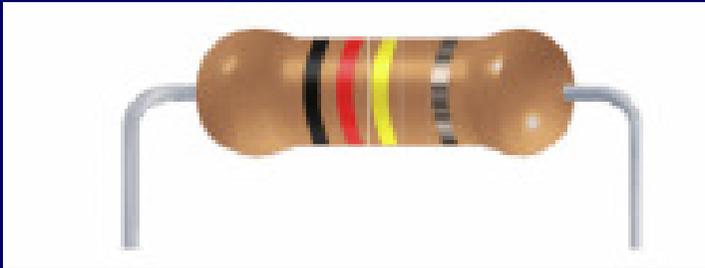
$$E = Pt$$

**Unidade** – Quilowatt-hora(**KWh**)

# Resistores

GIA

Componentes construídos para apresentar um determinado valor de resistência elétrica, que varia dentro de uma faixa (**tolerância**). Os materiais mais usados na sua construção são o carbono , metais e ligas.



- Os resistores usados nos circuitos eletrônicos são de vários tipos e tamanhos.
- Seus dois parâmetros elétricos importantes são o valor da resistência e a potência.

# Resistores

GIA

Resistores são largamente empregados em circuitos eletrônicos

Materiais utilizados na fabricação: Carbono, Filmes Metálicos, Fios metálicos (materiais de baixa condutividade )

Resistência: 0,01 a  $10^{12}$  ohms

Potência: 1/8 a 250 watts

Precisão (tolerância): 0,005 a 20 %

Resistores mais comumente empregados:

**Carbono, 1 a 20 megohms**

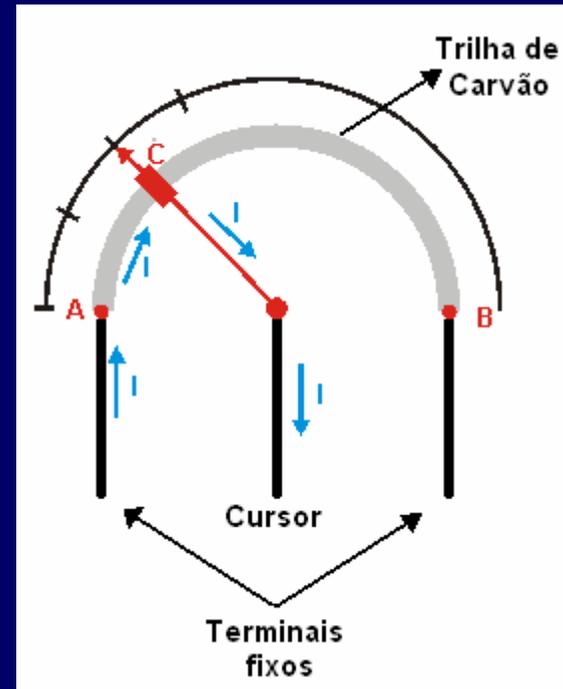
**1/8 a 1/2 watts**

**5 a 10% de tolerância**

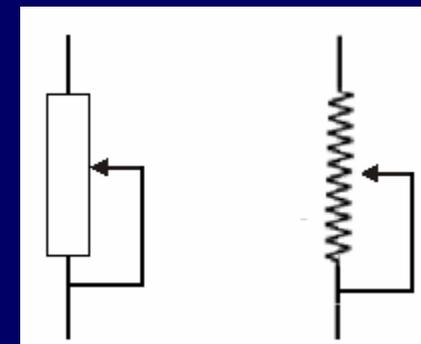
# Resistores

GIA

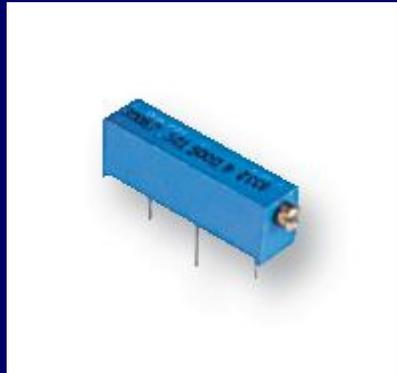
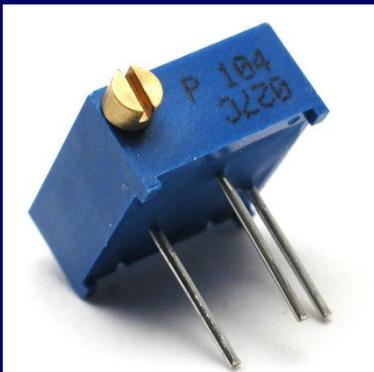
Também chamados de resistores variáveis, são constituídos de uma trilha de carbono (similar a grafite) na qual um cursor metálico é posicionado. Ao girar o came do eixo, o cursor desliza e faz variar a resistência entre o terminal do cursor e os dois terminais fixos. Podem ser lineares ou logarítmicos.



Símbolos



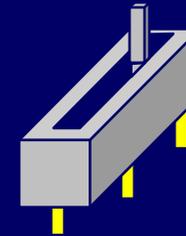
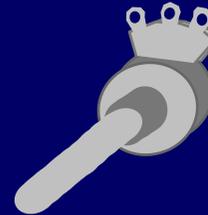
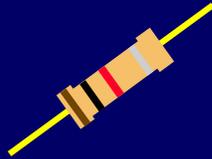
# Resistores



# Resistores

GIA

## Formas de construção



## Mudança da Resistência

Resistor (ohm)	1K $\Omega$	10M $\Omega$
Soldagem (350 $^{\circ}$ C)	2%	2%
Umidade (95% umidade relativa a 40 $^{\circ}$ C)	+6%	+10%
Temperatura (25 a 15 $^{\circ}$ C)	+2,5%	+4,5%
Temperatura (25 a 85 $^{\circ}$ C)	+3,3%	+5,9%
Ciclo de Carga (500 on/off ciclos 1000 hs)	+4% a 6%	+4% a 6%

# Código de Cores



GIA

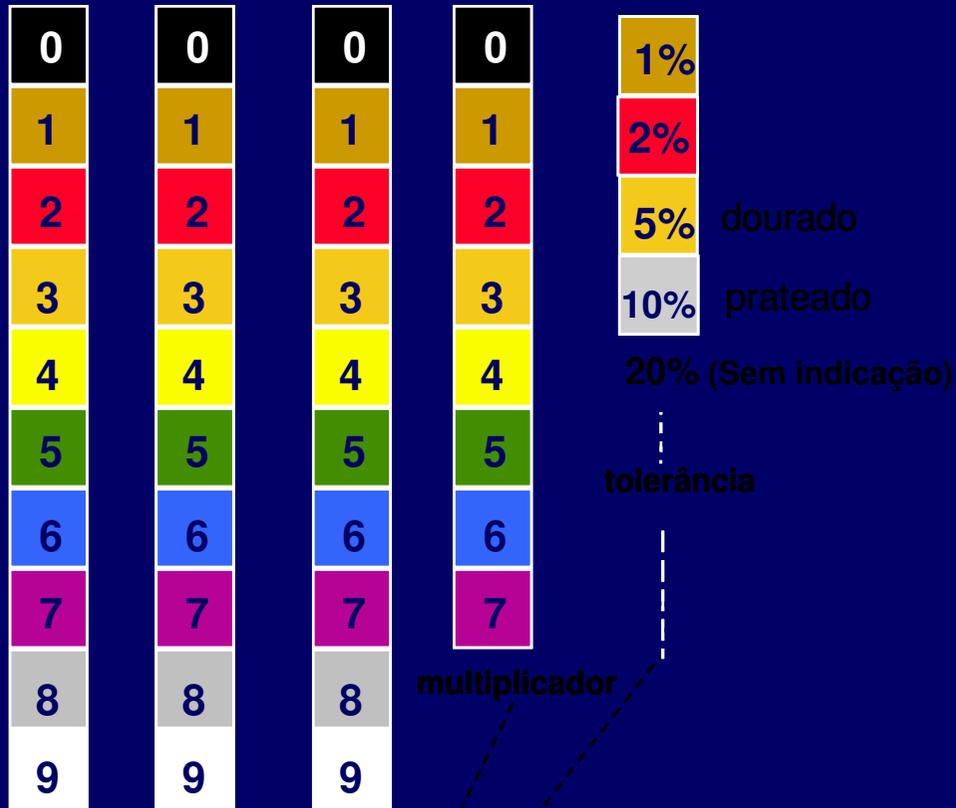
Os resistores são identificados através de um código de cores, onde cada cor e a posição da mesma no corpo dos resistores representa um valor ou um fator multiplicativo.

O código de cores varia conforme as resistências sejam normais ou de precisão: as resistências normais são codificadas com quatro bandas, ao passo que as de precisão são codificadas com base num código de cinco bandas.

# Escala de Cores de Resistores

GIA

carbono  1000 Ω ± 10%



valores

Filme metálico  390 Ω ± 2%

# Resistores e Código de Cores

GIA



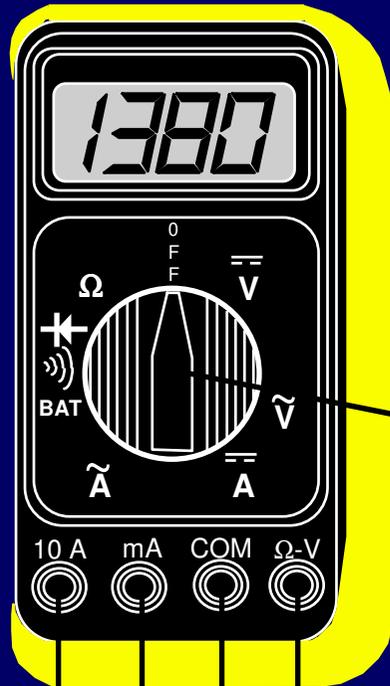
Amarelo, violeta, preto, dourado: 47R, tolerância de  $\pm 5\%$



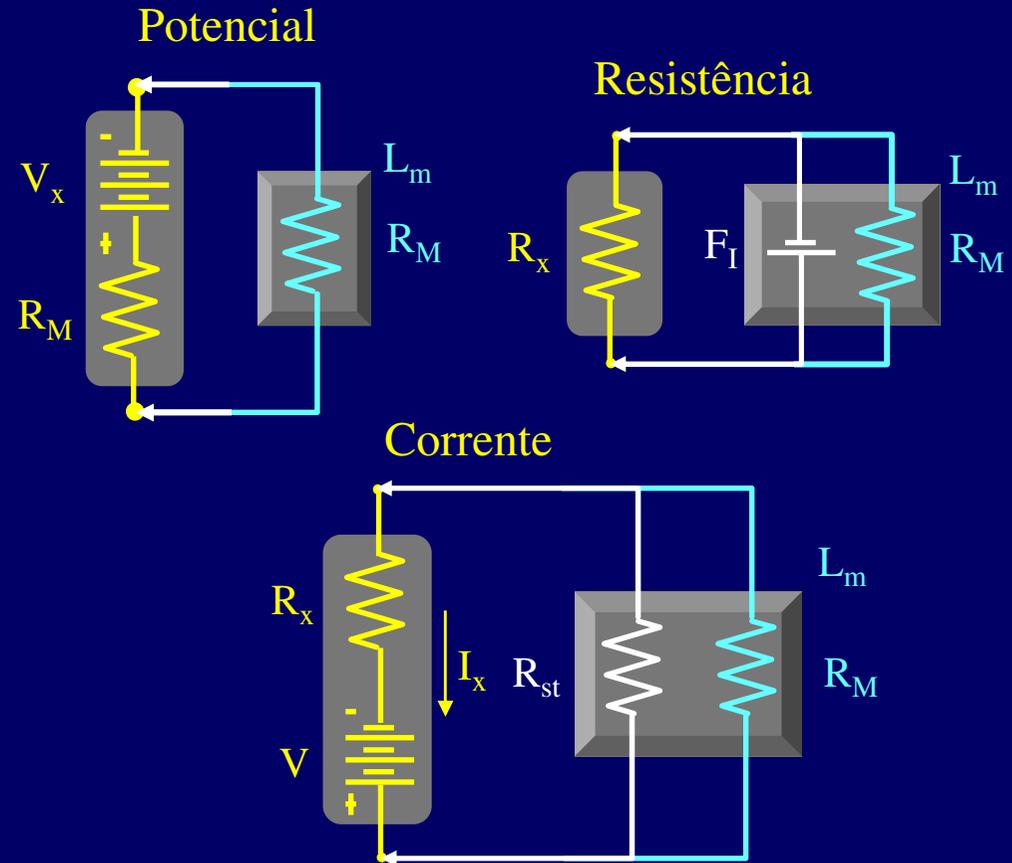
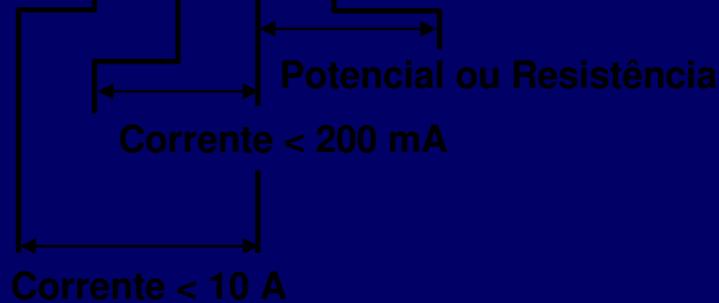
Vermelho, vermelho, vermelho: 2200R ou 2k2R, tolerância de  $\pm 20\%$ .

# Multímetro

GIA



Seletor de  
Função e  
Escala



- $L_m$  = Leitura mostrada pelo multímetro
- $V_x$  ou  $R_x$  = potencial ou resistência desconhecida
- $R_{st}$  = Resistência padrão
- $R_M$  = Resistência interna fonte ou multímetro
- $F_I$  = Fonte interna

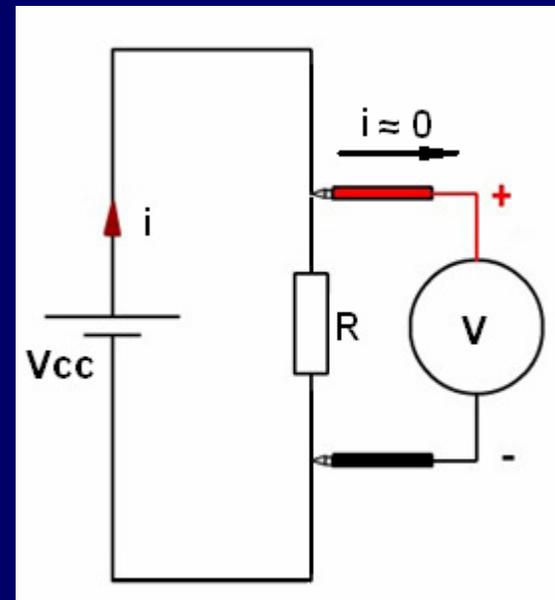
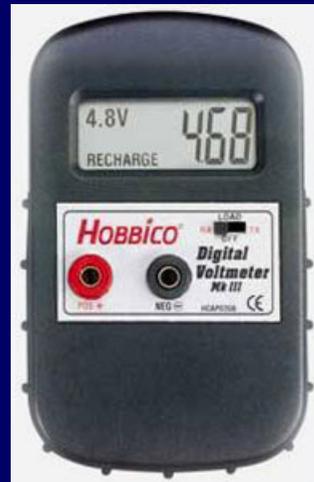
# Instrumento de medida

GIA

**Voltímetro: Medidor de tensão elétrica**  
**Analógico ou digital**



Pontas de Prova

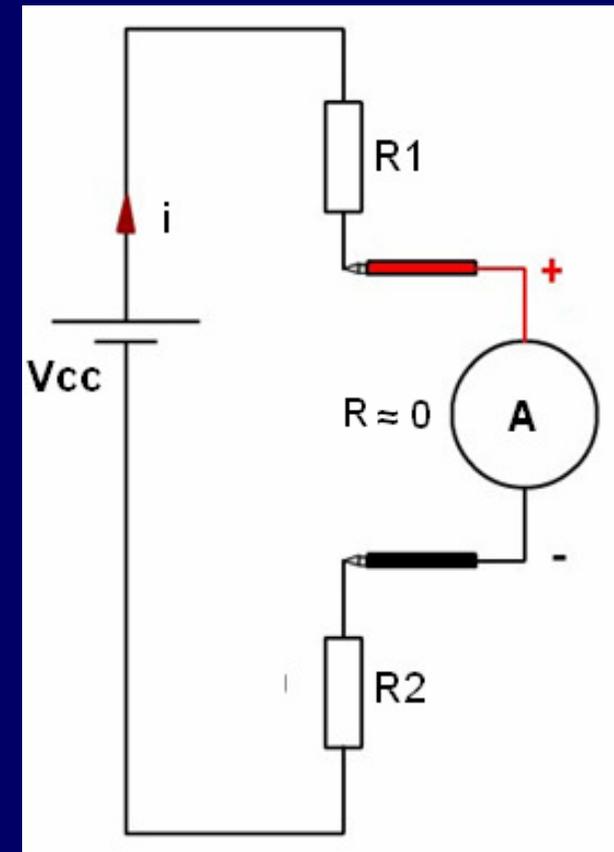
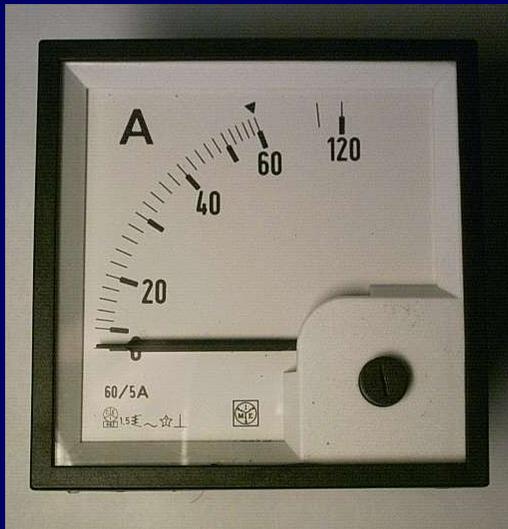


A ligação de um voltímetro ao circuito é do tipo paralelo. Ele apresenta uma resistência de entrada muito elevada de modo que absorva o mínimo de corrente possível

# Instrumento de medida

GIA

**Amperímetro: Medidor de corrente elétrica  
Analogóico ou digital**

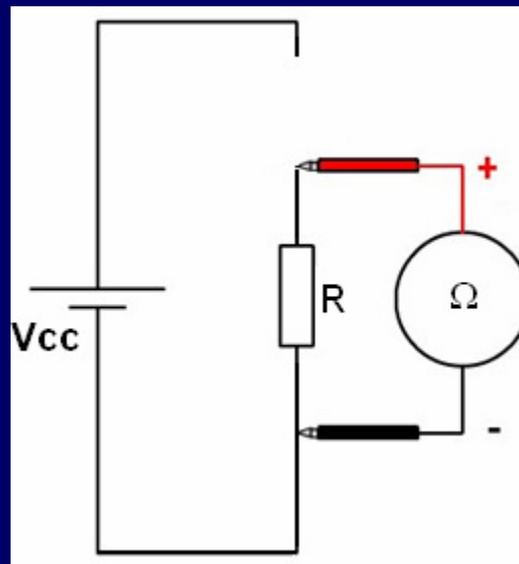


Na medida da corrente o instrumento faz parte do circuito. Um amperímetro ideal caracteriza-se pela capacidade de medir correntes sem que ocorra qualquer queda de tensão entre seus dois terminais.

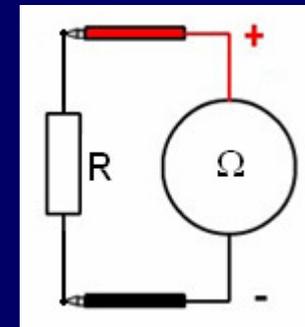
# Instrumento de medida

GIA

**Ohmímetro: Medidor de resistência elétrica**  
**Analógico ou digital**



ou

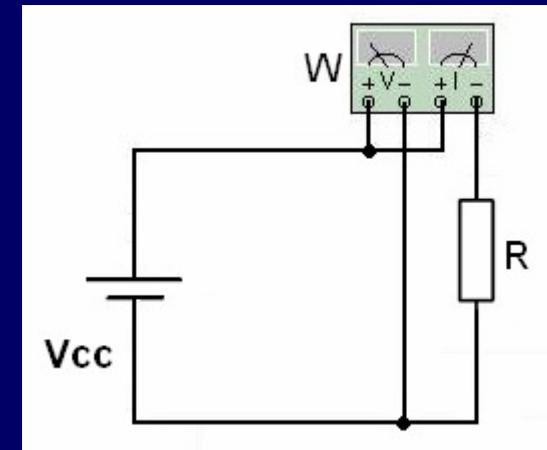


O ohmímetro aplica uma tensão no componente avaliado, fazendo circular uma corrente neste. Sendo conhecida a tensão aplicada e medida a corrente, o instrumento apresenta o valor da resistência medida.

# Instrumento de medida

GIA

Wattímetro: Medidor de potência elétrica  
Analógico ou digital



Sua ligação ao circuito é feita simultaneamente em série e em paralelo

# Instrumento de medida

GIA

Multímetro ou Multiteste: Medidor de vários parâmetros elétricos  
Analogico ou digital

voltímetro



amperímetro



ohmímetro



capacitímetro

frequencímetro

termômetro

teste de transistores

# Instrumento de medida

GIA

**Osciloscópio: Medidor de tensão e visualizador de formas de onda. Analógico ou digital**

O osciloscópio é um instrumento que permite visualizar em tempo real a amplitude de um sinal elétrico que varia no tempo. Os osciloscópios dispõem de diversos canais de leitura simultânea, em geral dois ou quatro. Os osciloscópios digitais são os de maior funcionalidade, permitindo somar e subtrair sinais entre canais, calcular valores médios, máximos e mínimos, frequências, memorizar, imprimir ou transferir para um computador o conteúdo do visor, etc.

# Instrumento de medida

GIA

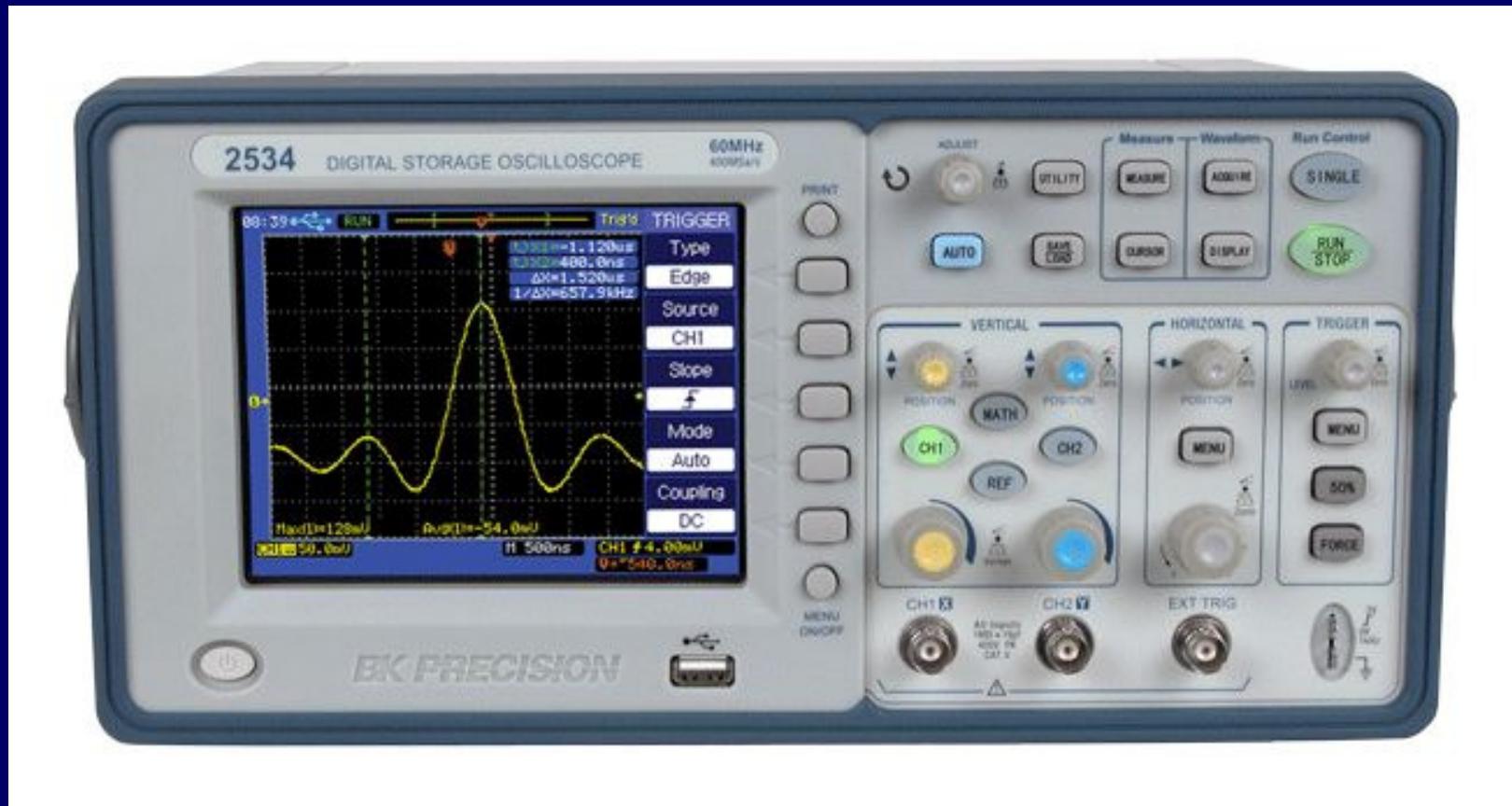
## Osciloscópio Analógico



# Instrumento de medida

GIA

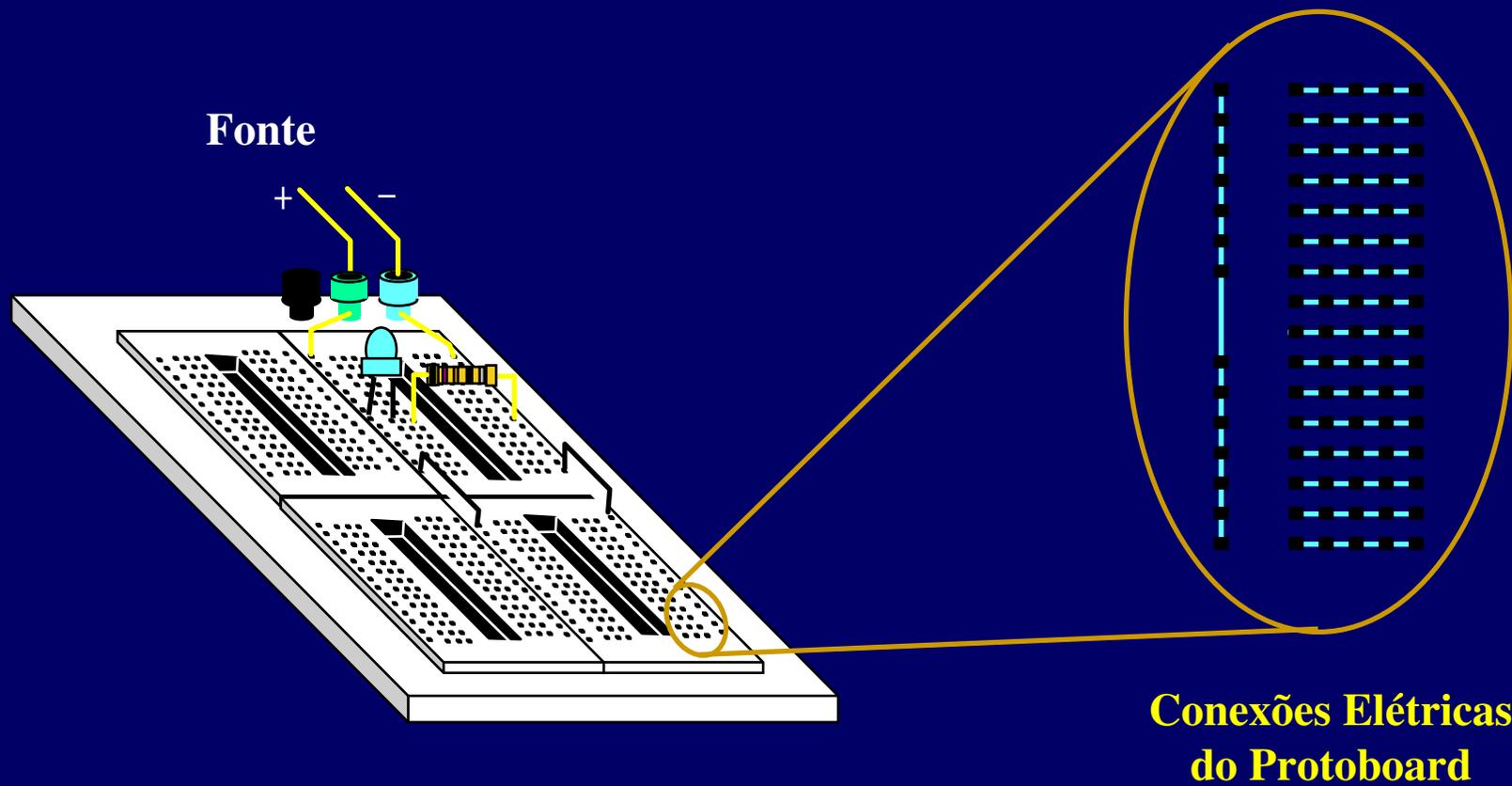
## Osciloscópio Digital



# Protoboard

GIA

Dispositivo empregado para montagem de circuitos eletrônicos em fase de teste

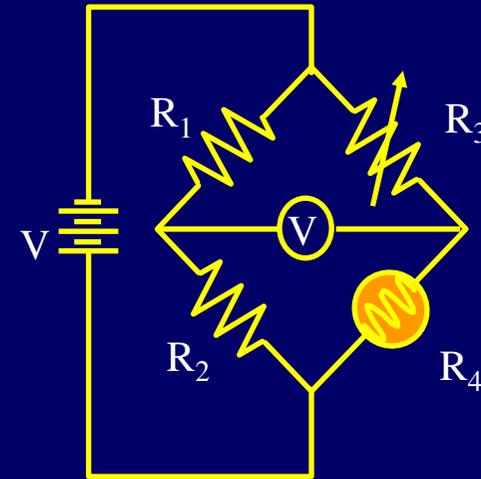
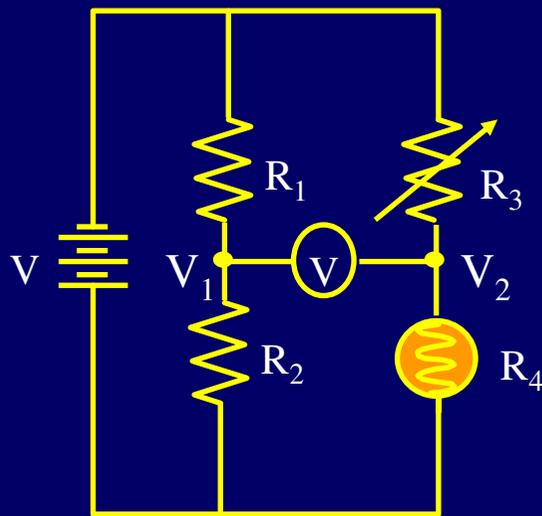
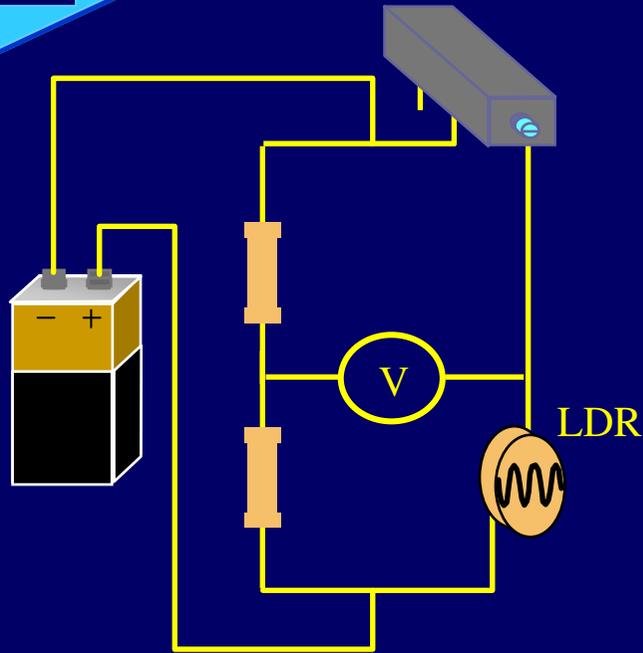


# Construção de um Espectrofotômetro

GIA

- Gerador de Sinal
  - LED (Light Emitter Diode, diodo emissor de luz) + amostra
    - Analito Fósforo
      - Complexo fósforo molibídico máximo de absorção 660 nm
- Sinal Analítico
  - Atenuação da luz
- Transdutor de Entrada
  - LDR (Light Dependent Resistor, fotoresistor)
- Sinal de entrada
  - Resistência
- Processador de Sinal
  - Ponte de Wheatstone
- Transdutor de saída
  - Voltímetro

# Transdutor de Entrada



$$V_1 = V \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad V_2 = V \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

Ponte Balanceada ( $V_1 = V_2$ )

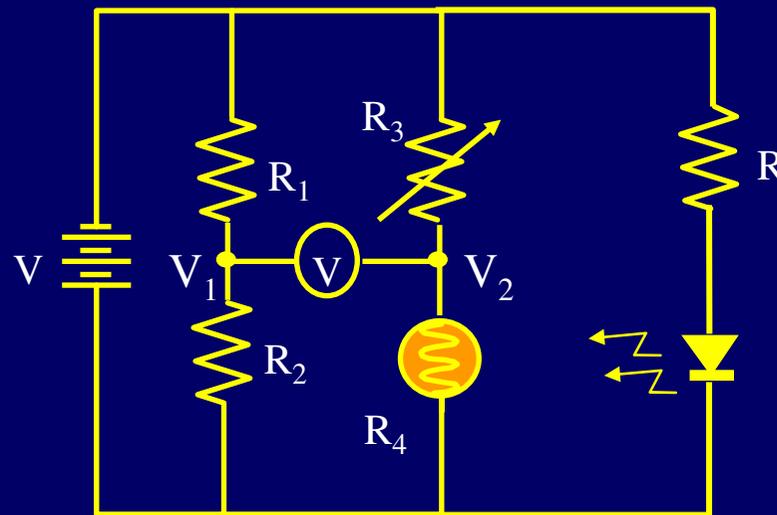
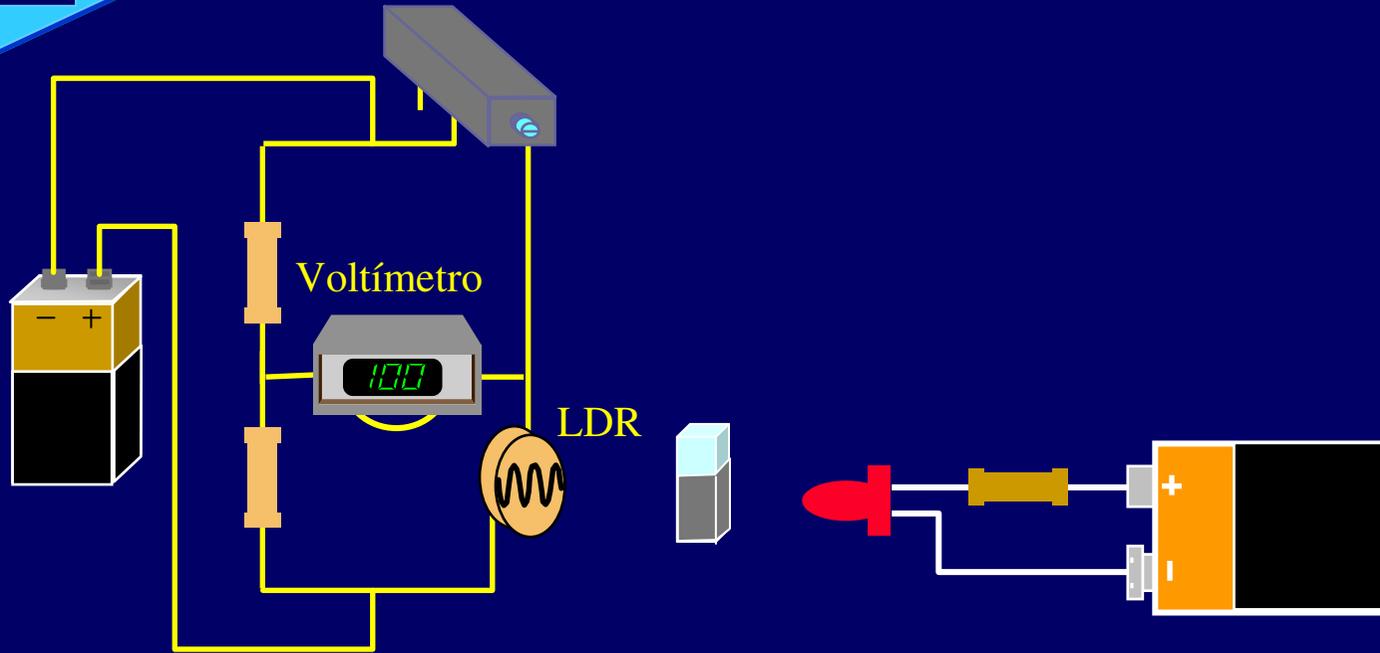
$$R_4 = \frac{R_3 R_2}{R_1}$$

Símbolo



Light Dependent Resistor

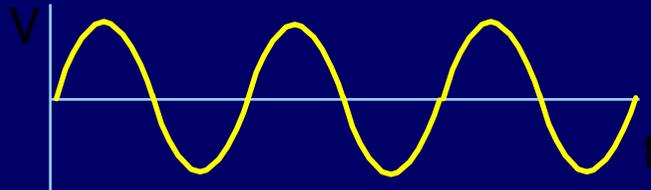
# Espectrofotômetro a LED



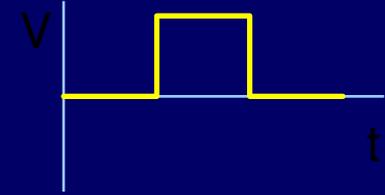
# Tipos de Sinais



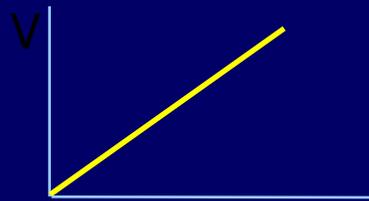
Contínuo (dc) t



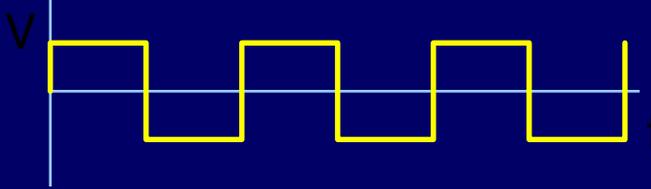
Senoidal (ac)



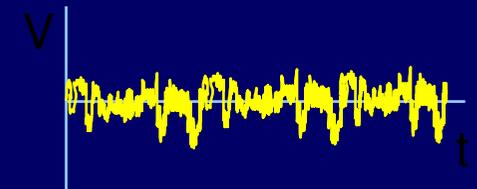
Pulso



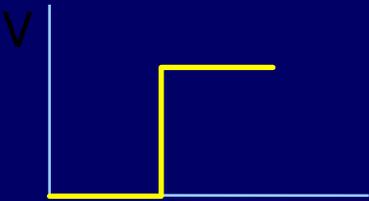
Rampa t



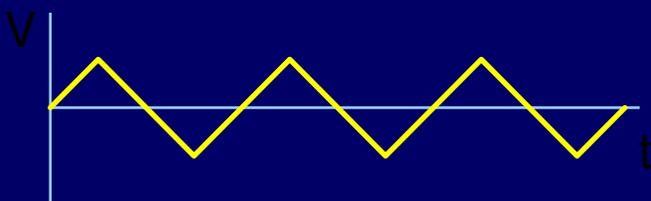
Onda Quadrada



Ruído



Step t

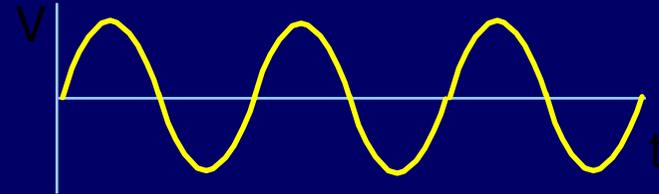


Triangular

# Sinal contínuos e alternados



Corrente Contínua - DC  
*Direct Current*

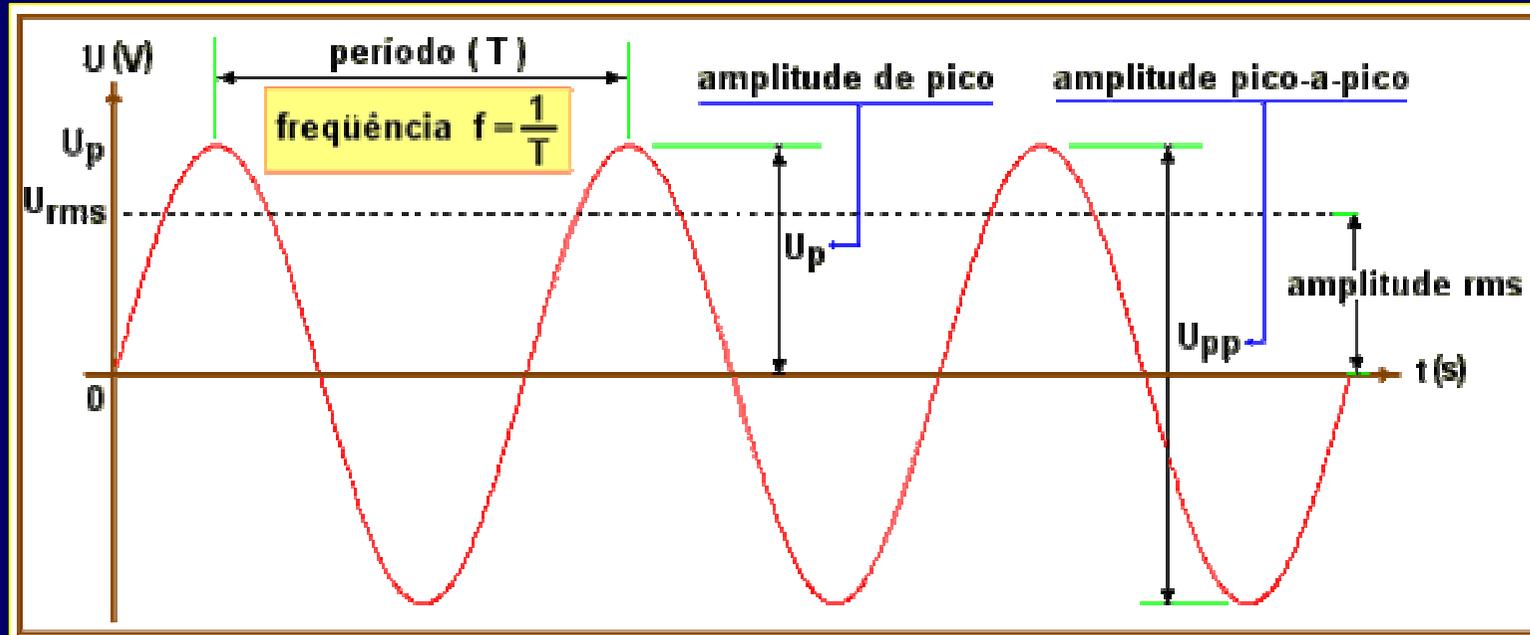


Corrente alternada - AC  
*Alternate Current*



# Sinais alternados

GIA



**Período:** tempo necessário para a realização de um ciclo ( $t_p$ )

**Amplitude de Pico ( $V_p$  ou  $I_p$ ):** Corresponde ao valor máximo da tensão ou corrente senoidal em função do tempo

**Amplitude Pico a Pico ( $V_{pp}$  ou  $I_p$ ):** Corresponde ao dobro de  $V_p$ , ou seja, é a medida vertical entre os valores máximos e mínimos da onda;  $V_{pp} = 2.V_p$ .

**Amplitude RMS ( $V_{rms}$  ou  $I_{rms}$ ):** Valor quadrático médio da função seno em relação ao tempo, também chamado de “valor eficaz” ou ainda, “valor nominal”

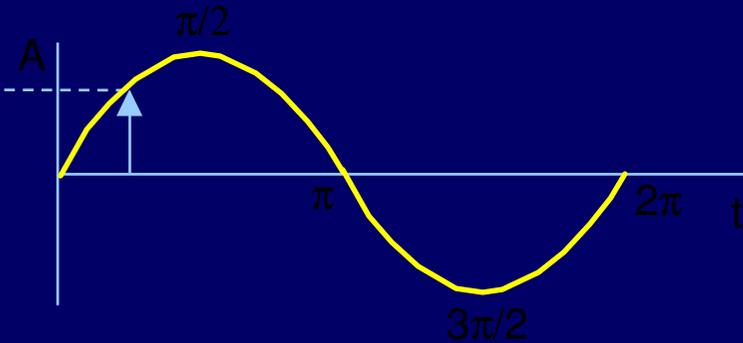
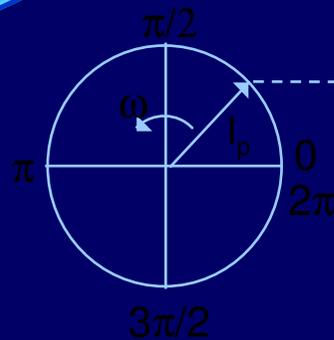
# Sinais alternados



- A saída elétrica de transdutores de sinais analíticos geralmente flutuam periodicamente ou podem ser levados a produzir este tipo de sinal

# Sinais Senoidais

GIA



## Frequência Angular ( $\omega$ )

$$\omega = \frac{2\pi}{t_p}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$t_p$  = período s

$f$  = frequência em ciclos  $s^{-1}$  ou hertz (Hz)

## Voltagem ( $v$ ) e Corrente ( $i$ ) Instantânea

$$v = A \sin \omega t = A \sin 2\pi f t = V_p \sin 2\pi f t$$

$$i = A \sin \omega t = A \sin 2\pi f t = I_p \sin 2\pi f t$$

$A$  = amplitude

$V_p$  = Voltagem pico

$I_p$  = Corrente pico

## $V_{rms}$ e $I_{rms}$ (rms = root-mean-square)

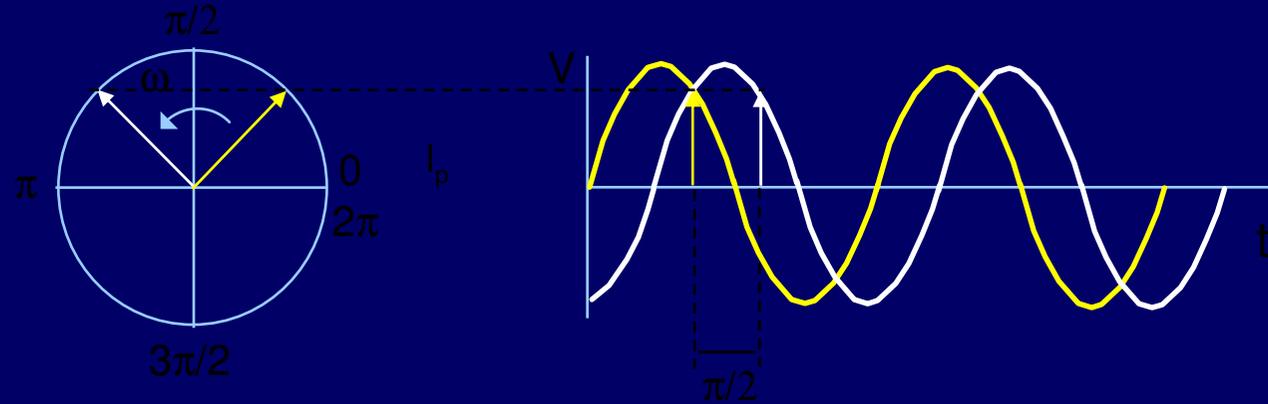
Voltagem ou a corrente em um circuito ac a qual produz o mesmo aquecimento em um resistor em um circuito dc

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V^2}{2}} = 0,707 V$$

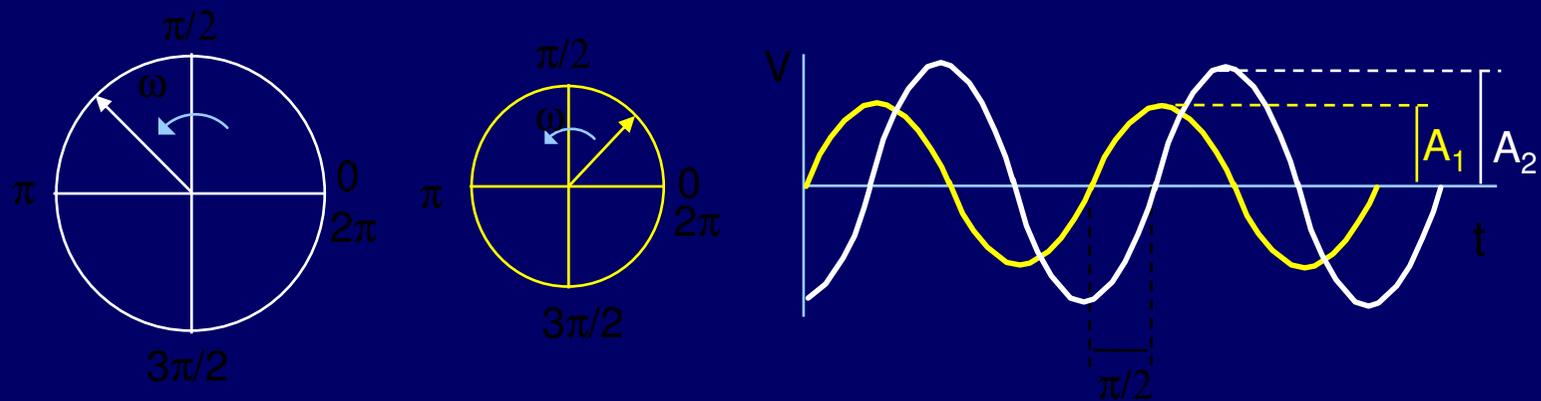
$$I_{rms} = \sqrt{\frac{I^2}{2}} = 0,707 I$$

# Sinais Senoidais

GIA



Sinais senoidais  $90^\circ$  fora de fase



Sinais senoidais com amplitudes diferentes e  $90^\circ$  fora de fase

# Decibéis

GIA

Decibéis é normalmente empregado para comparar sinais de diferentes amplitudes

$$\text{dB} = 20 \text{ Log}_{10} \frac{A_1}{A_2} \quad A_1 \text{ e } A_2 \text{ representam as amplitudes dos sinais 1 e 2, respectivamente}$$

De maneira geral, o valor de decibéis é calculado em relação a um valor padrão

## Exemplo:

Sabendo que o valor padrão para voltagem é 1 volts rms (dbV), encontrar o valor de decibéis para um sinal senoidal de amplitude de 10 V

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{V^2}{2}} \quad V_{\text{rms}} = 0,707 \cdot 10 = 7,07$$

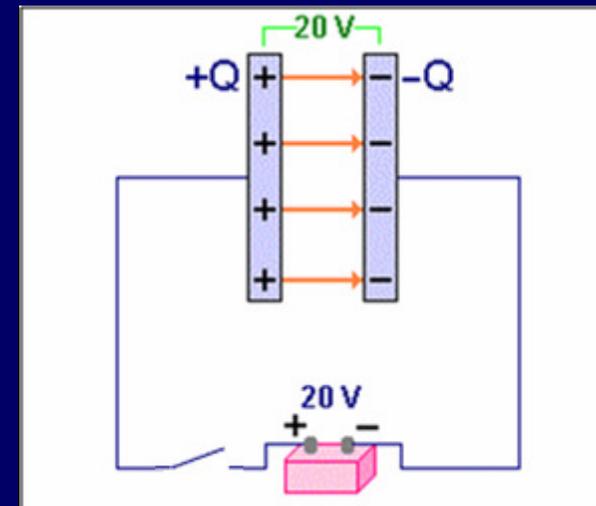
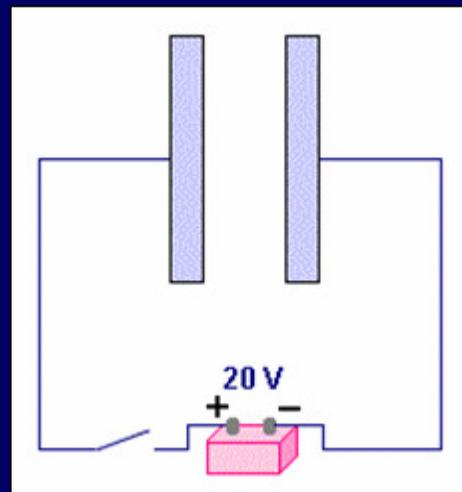
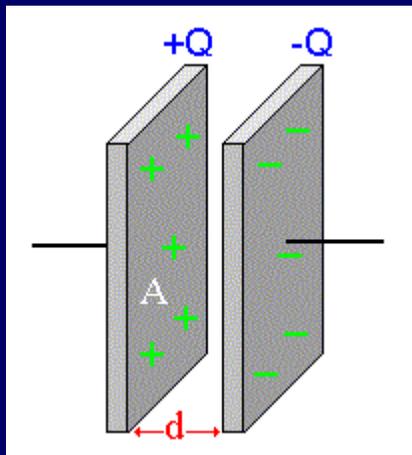
$$\text{dB} = 20 \text{ Log}_{10} \frac{A_1}{A_2} = 20 \text{ Log} \frac{7,07}{1} = 17$$

Amplitude de 16,7 decibéis em relação a 1Volts rms, 16,7 db re  $1V_{\text{rms}}$  ou 16,7 dBV

# Capacitor

GIA

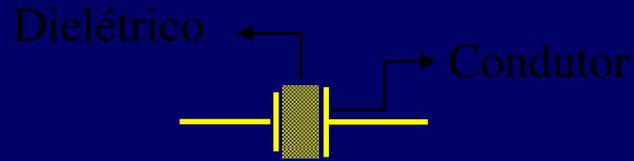
O capacitor é um componente elétrico que tem a propriedade de armazenar energia em forma de campo elétrico, tal propriedade chama-se capacitância. É constituído por duas placas condutoras, separadas por um material isolante.



# Capacitores

GIA

Capacitores são formados por pares de condutores metálicos separados por um material dielétrico (material isolante)



*Símbolos*



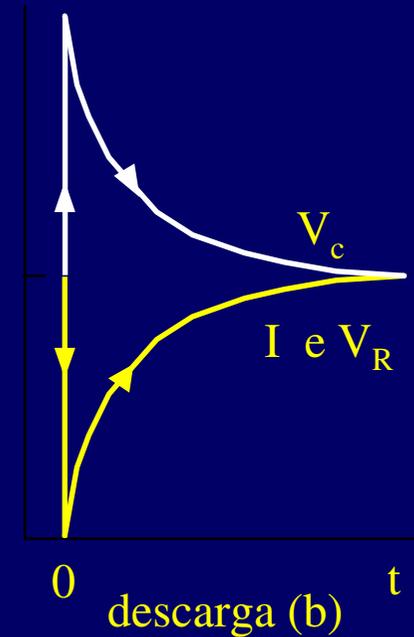
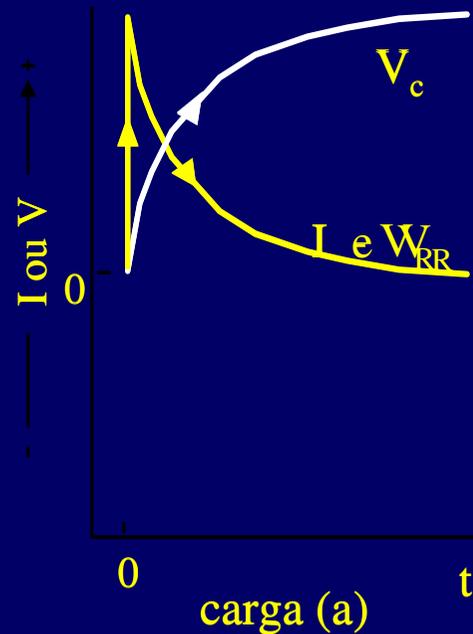
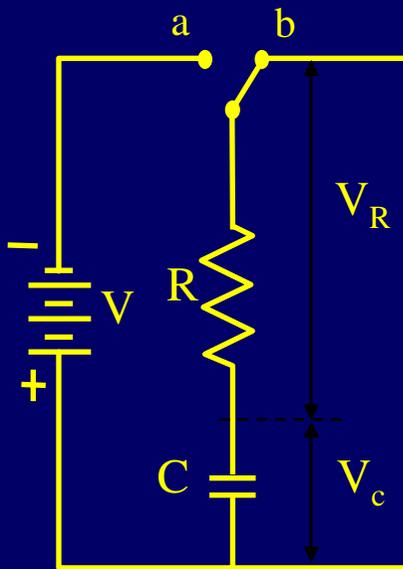
*Propriedades*

$$Q = CV$$

$$I = C \frac{dV}{dt}$$

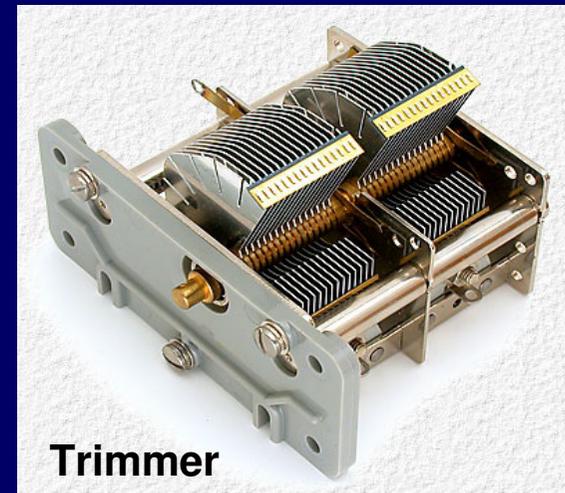
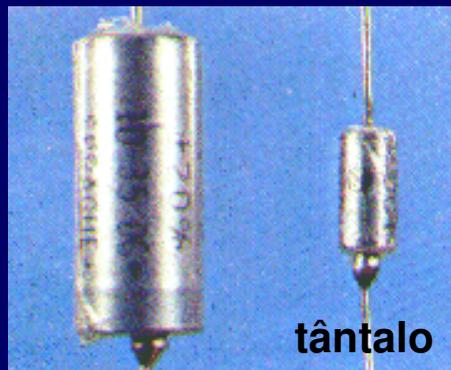
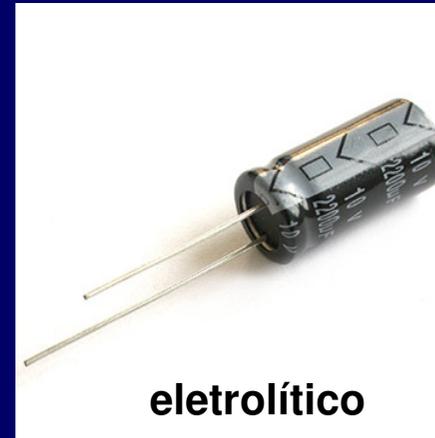
$Q$  = Carga estocada em coulombs

$C$  = Capacitância em Faraday (F)



# Tipos de Capacitores

GIA



# Capacitores

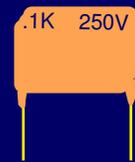
GIA

## *Materiais Empregados na Fabricação*

Condutores metálicos: Placas e Folhas de metais (alumínio)

Dielétricos: Ar, Óleo, Plásticos, Mica, Papel ou Óxidos metálicos

## *Formas de construção*



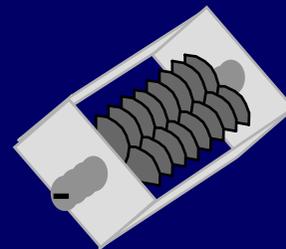
Poliéster



Cerâmica



Papel



Ar



Tântalo

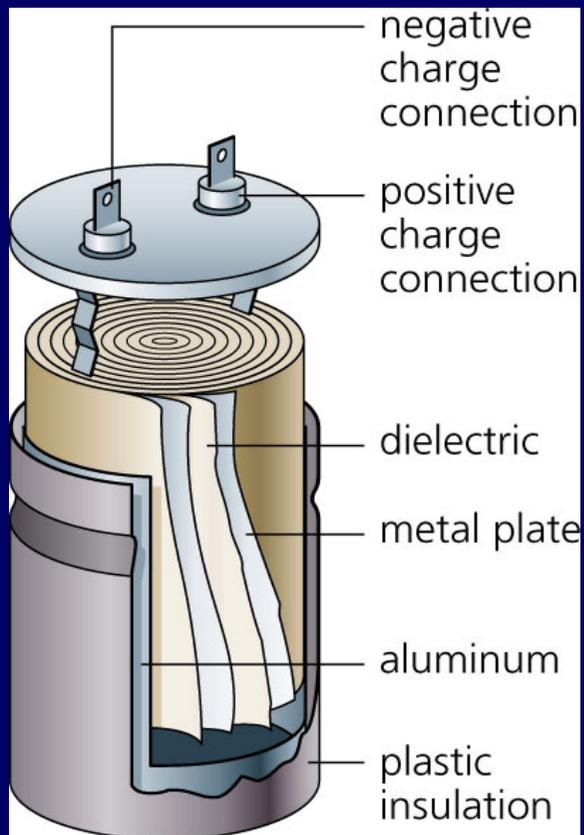


Eletrolítico

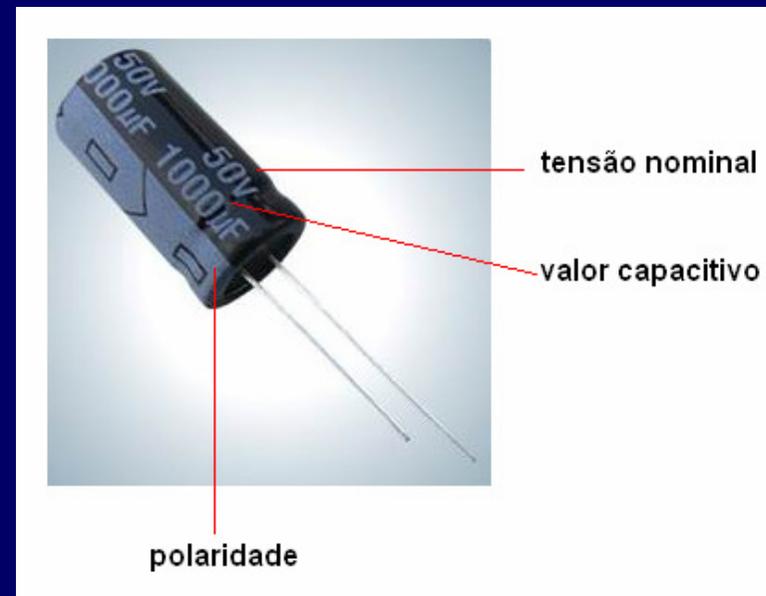
# Capacitor Eletrolítico

GIA

Composto por duas folhas de alumínio, separadas por uma camada de óxido de alumínio, enroladas e embebidas em um eletrólito líquido (composto predominantemente de ácido bórico ou borato de sódio)



- Com a polaridade invertida ocorre a destruição da camada de óxido, fazendo o capacitor entrar em curto-circuito.



# Capacitores

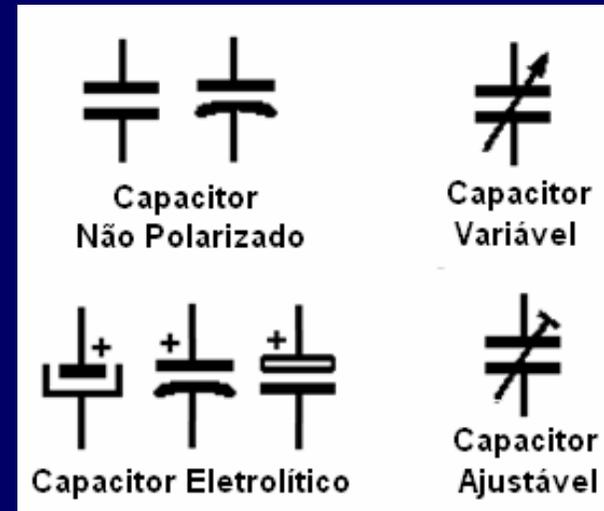
GIA

## Unidades

**Unidade: Farad**

<b>Múltiplo</b>	<b>Nome</b>	<b>Símbolo</b>
$10^{-6}$	microfarad	$\mu\text{F}$
$10^{-9}$	nanofarad	$\text{nF}$
$10^{-12}$	picofarad	$\text{pF}$

## Símbolos



# Capacitores

GIA

Tipo	Faixa de Capacitância	Voltagem Máxima	Precisão	Comentários
Cerâmica	10 pF- 1 $\mu$ F	50 -1000	Pobre	Pequeno, Baixo Custo
Poliéster	10 nF- 2 $\mu$ F	100 -600	Boa	Boa Qualidade, Filtros
Tântalo	0,1 $\mu$ F- 500 $\mu$ F	6 -100	Pobre	Pequeno, Alta Capacit.
Eletrolítico	0,1 $\mu$ F- 0,2 F	3 - 600	Ruim	Fontes de Alimentação
Papel	10 pF - 0,01 $\mu$ F	100 - 500	Pobre	Pequeno, Baixo Custo

# Capacitores

GIA

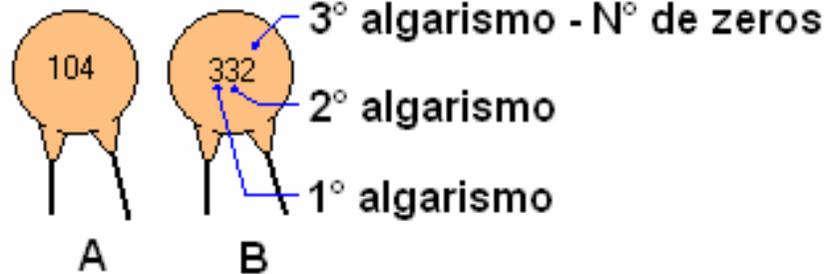
## Características e Aplicações

- Capacitores são comumente usados em fontes de alimentação onde elas suavizam a saída de uma onda retificada completa ou meia onda.
- Permitem a passagem de sinais de Corrente Alternada mas bloqueiam sinais de Corrente Contínua. Por isso são usados para separar circuitos CA e CC (*acoplamento AC*).
- Armazena cargas elétricas para posterior descarga.
- Usados em correção de fator de potência de circuitos CA.
- Usados em circuitos CA ressonantes
- Usados em circuitos divisores de frequências

# Código de Valores de Capacitores

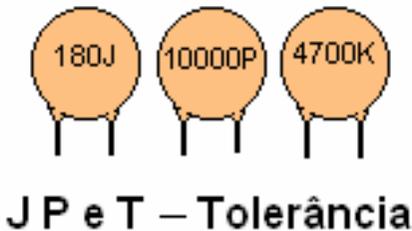
GIA

## Cerâmicos



A  $10 \times 10000 = 100000 \text{ pF}$  ou  $100 \text{ nF}$

B  $33 \times 100 = 3300 \text{ pF}$  ou  $3,3 \text{ nF}$

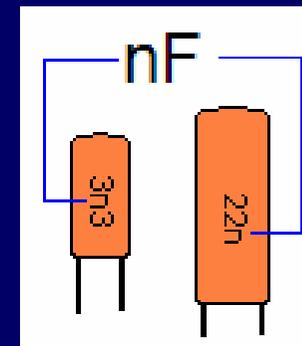


180 pF

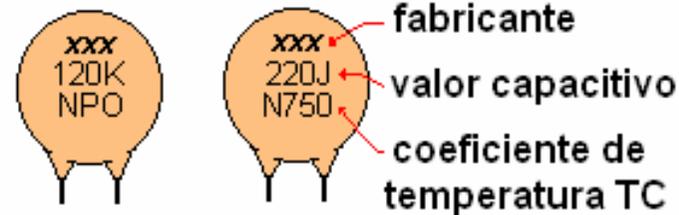
10000 pF

4700 pF

3,3 nF



22 nF



# Código de Valores de Capacitores

GIA

## Tabela de Tolerância

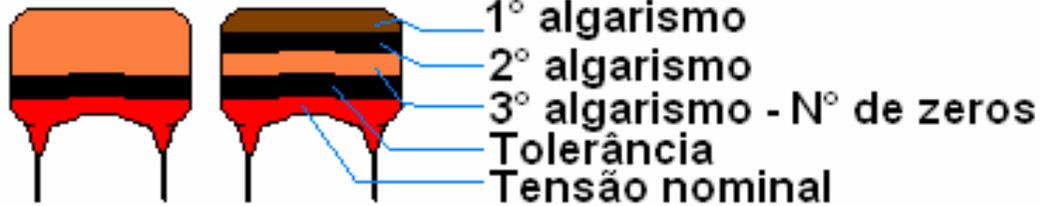
Até 10pF	Código	Acima de 10pF
$\pm 0,1\text{pF}$	B	
$\pm 0,25\text{pF}$	C	
$\pm 0,5\text{pF}$	D	
$\pm 1,0\text{pF}$	F	
	G	$\pm 2\%$
	H	$\pm 3\%$
	J	$\pm 5\%$
	K	$\pm 10\%$
	M	$\pm 20\%$
	S	$-50\% -20\%$
	Z	$+80\%; -20\%$ ou $+100\% -20\%$
	P	$+100\% -0\%$

## Coefficientes de Temperatura

Código	Coefficiente de temperatura
NPO	$-0\pm 30\text{ppm}/^\circ\text{C}$
N075	$-75\pm 30\text{ppm}/^\circ\text{C}$
N150	$-150\pm 30\text{ppm}/^\circ\text{C}$
N220	$-220\pm 60\text{ppm}/^\circ\text{C}$
N330	$-330\pm 60\text{ppm}/^\circ\text{C}$
N470	$-470\pm 60\text{ppm}/^\circ\text{C}$
N750	$-750\pm 120\text{ppm}/^\circ\text{C}$
N1500	$-1500\pm 250\text{ppm}/^\circ\text{C}$
N2200	$-2200\pm 500\text{ppm}/^\circ\text{C}$
N3300	$-3300\pm 500\text{ppm}/^\circ\text{C}$
N4700	$-4700\pm 1000\text{ppm}/^\circ\text{C}$
N5250	$-5250\pm 1000\text{ppm}/^\circ\text{C}$
P100	$+100\pm 30\text{ppm}/^\circ\text{C}$

# Código de Valores de Capacitores

GIA



**Poliéster Metalizado**

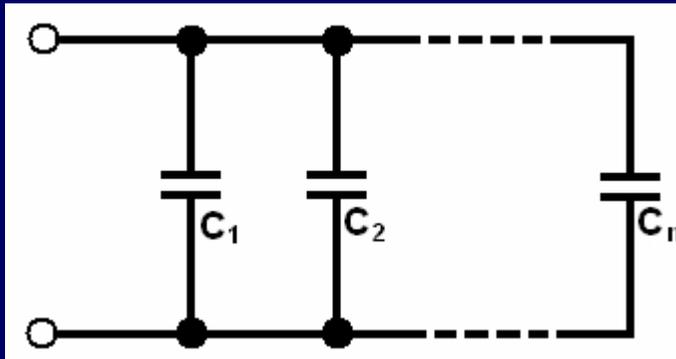
## CÓDIGO DE CORES

	1° Algarismo	2° Algarismo	3° N° de zeros	4° Tolerância	5° Tensão
<b>PRETO</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		<b>± 20%</b>	
<b>MARROM</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
<b>VERMELHO</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>00</b>		<b>250V</b>
<b>LARANJA</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>000</b>		
<b>AMARELO</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0000</b>		<b>400V</b>
<b>VERDE</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>00000</b>		
<b>AZUL</b>	<b>6</b>	<b>6</b>			<b>630V</b>
<b>VIOLETA</b>	<b>7</b>	<b>7</b>			
<b>CINZA</b>	<b>8</b>	<b>8</b>			
<b>BRANCO</b>	<b>9</b>	<b>9</b>		<b>± 10%</b>	

# Associação de Capacitores

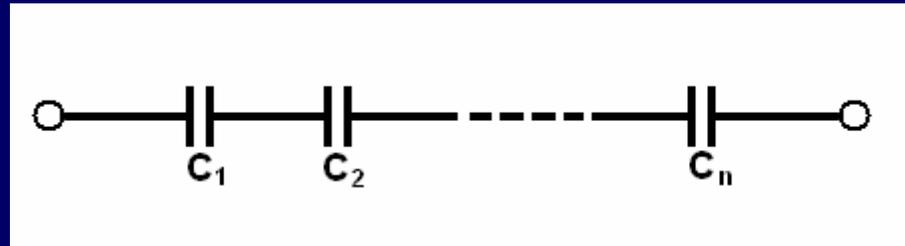
GIA

## Paralelo



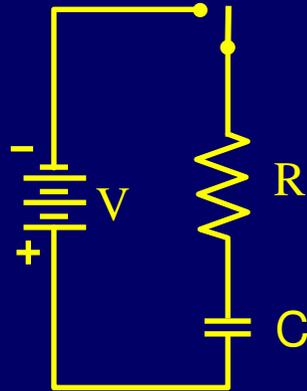
$$C_{EQ} = C_1 + C_2 + \dots C_n$$

## Série



$$C_{EQ} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \frac{1}{C_n}$$

# Circuito RC



## Lei de Kirchhoff de voltagem para um circuito RC

$$V = v_R + v_C$$

Sabendo:

$$v_R = iR \quad v_C = \frac{q}{C}$$

Substituindo:

$$V = iR + \frac{q}{C}$$

$V$  = voltagem aplicada

$V_R$  = voltagem no resistor

$V_C$  = voltagem no capacitor

## Corrente instantânea que flui pelo circuito

$$\frac{dV}{dt} = \frac{di}{dt} R + \frac{dq/dt}{C}$$

Como:

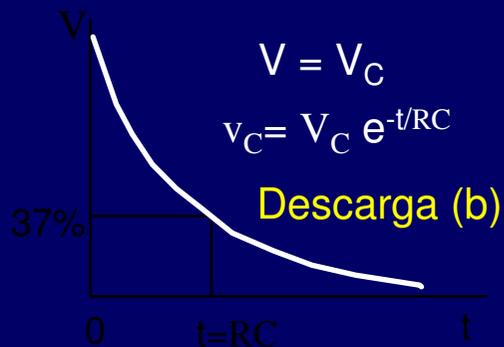
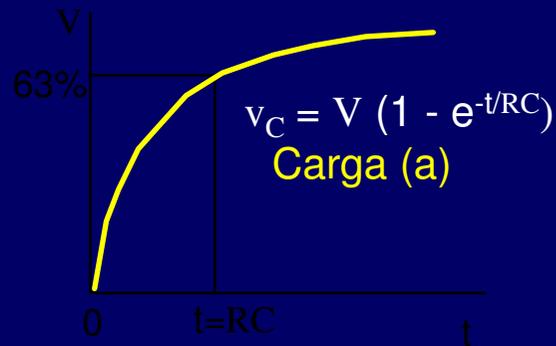
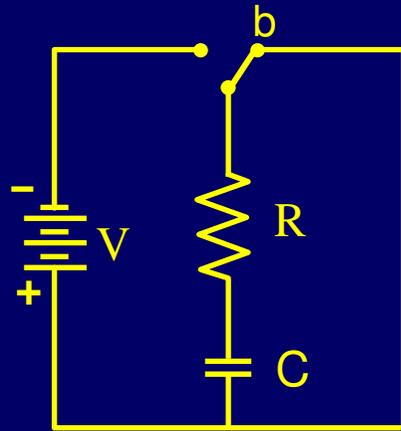
$$V = \text{cte} \Rightarrow \frac{dV}{dt} = 0 \quad \text{e} \quad dq/dt = i$$

$$\frac{di}{i} = - \frac{dt}{RC}$$

$$\int_{inic}^i \frac{di}{i} = \int_0^t - \frac{dt}{RC}$$

$$i = I_i e^{-t/RC}$$

# Circuito RC



Variação da corrente em função do tempo

$$i = I_i e^{-t/RC}$$

$i$  = Corrente instantânea

$I_i$  = Corrente inicial

Variação da Voltagem em função do tempo

$$v_R = V e^{-t/RC}$$

$$v_C = V(1 - e^{-t/RC})$$

$v_R$  = Voltagem instantânea no resistor

$v_C$  = Voltagem instantânea no capacitor

$V$  = Voltagem aplicada

O produto RC

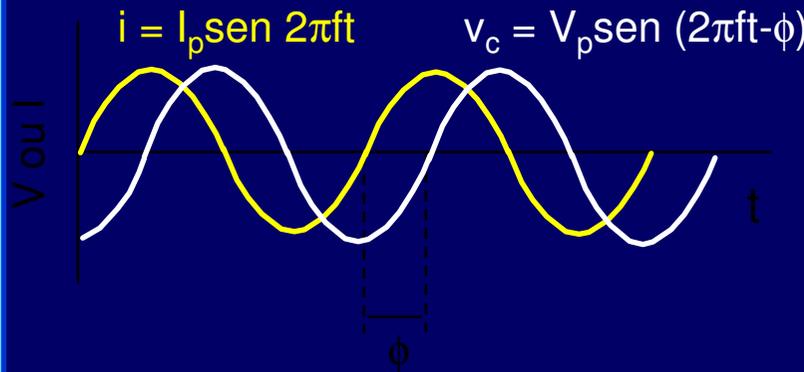
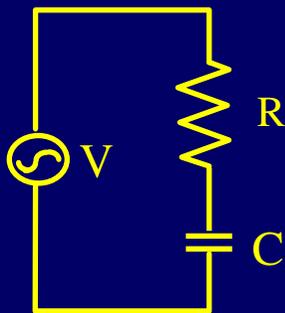
$$R = \frac{V}{I} \quad I = \frac{Q}{t} \quad C = \frac{Q}{V}$$

$$RC = \frac{\cancel{\text{volts}}}{\cancel{\text{coulombs}}/\text{segundo}} \times \frac{\cancel{\text{coulombs}}}{\cancel{\text{volts}}} = \text{segundo}$$

# Reatância e Impedância



*Sinal senoidal em um circuito RC*



## Reatância

Um capacitor, tal como um resistor, impede a passagem de corrente

Analogamente

$$X_c = \frac{V}{I} \quad X_c = \text{reatância capacitiva} \quad R = \frac{V}{I}$$

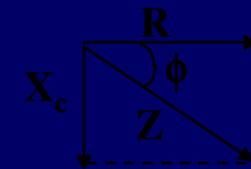
$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad \text{Um capacitor pode ser comparado a um resistor que depende da frequência}$$

## Impedância em um circuito RC

É a soma vetorial da resistência e a reatância

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad Z = \text{impedância do circuito}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)^2}$$



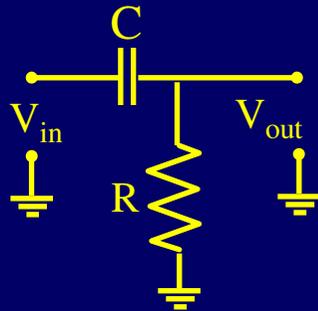
Em um circuito RC existe uma dependência entre resistência, capacitância e frequência

# Filtros Analógicos Baseados em Circuitos RC

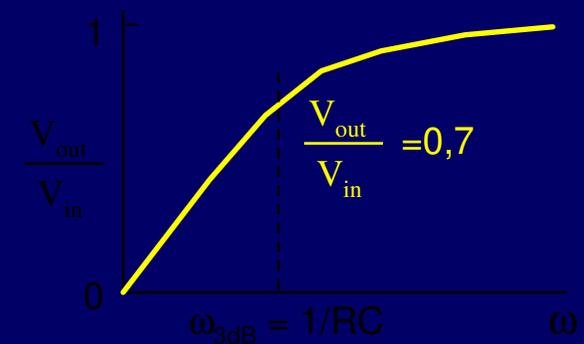
GIA

Circuitos RC são normalmente empregados como filtros analógicos para atenuar sinais indesejáveis frente ao sinal de interesse

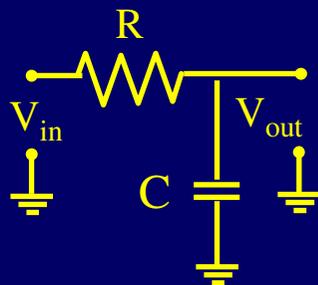
## Filtros passa alto



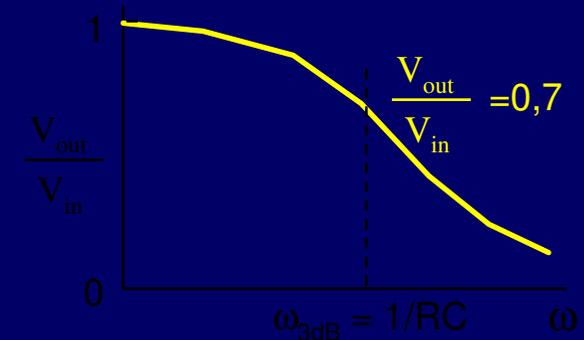
$$V_{out} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)^2}} V_{in}$$



## Filtro passa baixo

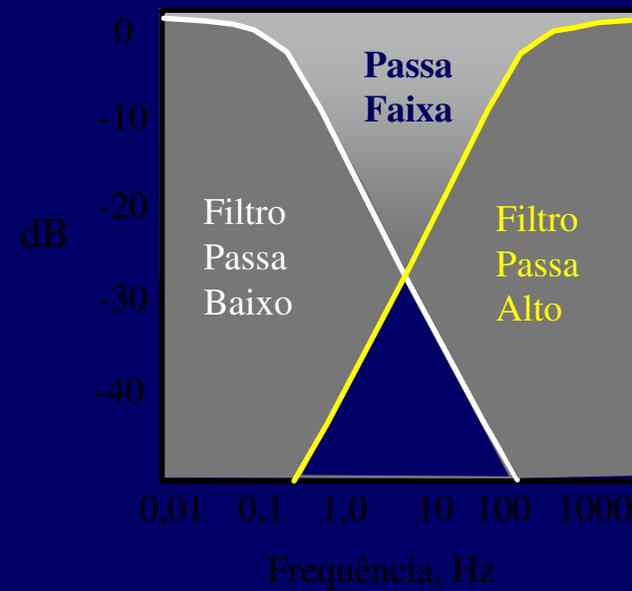
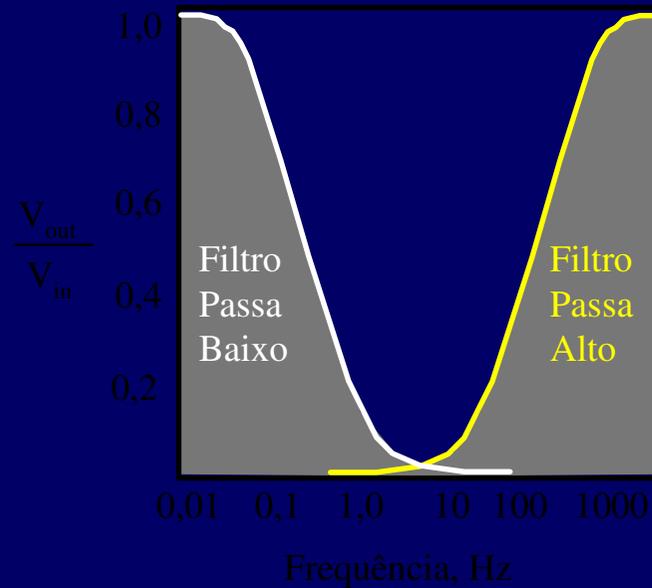


$$V_{out} = \frac{\left(\frac{1}{2\pi f C}\right)}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)^2}} V_{in}$$



# Filtros Analógicos Baseados em Circuitos RC

GIA



## Exemplo

### Passa Baixo

$$R = 1 \text{ M}\Omega$$

$$C = 1 \text{ }\mu\text{F}$$

$$f_{3\text{dB}} = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$f_{3\text{dB}} = 0,159 \text{ Hz}$$

### Passa Alto

$$R = 10 \text{ K}\Omega$$

$$C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$$

$$f_{3\text{dB}} = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$f_{3\text{dB}} = 159 \text{ Hz}$$

# Ruído e Interferência

GIA

## Ruído

Flutuações aleatórias no nível do sinal de interesse, podendo ser inerente a medida ou gerados por elementos eletrônicos do próprio instrumento utilizado

**Caracterizados pelo espectro de frequência e distribuição de amplitude**

### Tipos de Ruídos

**Johnson Noise:** são gerados em função do movimento de cargas induzido termicamente (**white noise**, independe da frequência)

**Shot Noise:** São gerados pelo movimento de elétrons (**white noise**, independe da frequência)

**Flicker Noise:** Origem desconhecida e seu valor é determinado empiricamente (**Drift**, predomina entre 0 a 300 Hz, )

### Interferência

São causados frequentemente por campos magnéticos e elétricos gerados fora do instrumento de medida (ruído ambiental)

# Ruído e Interferência



Resistência da Fonte  
**Johnson Noise**

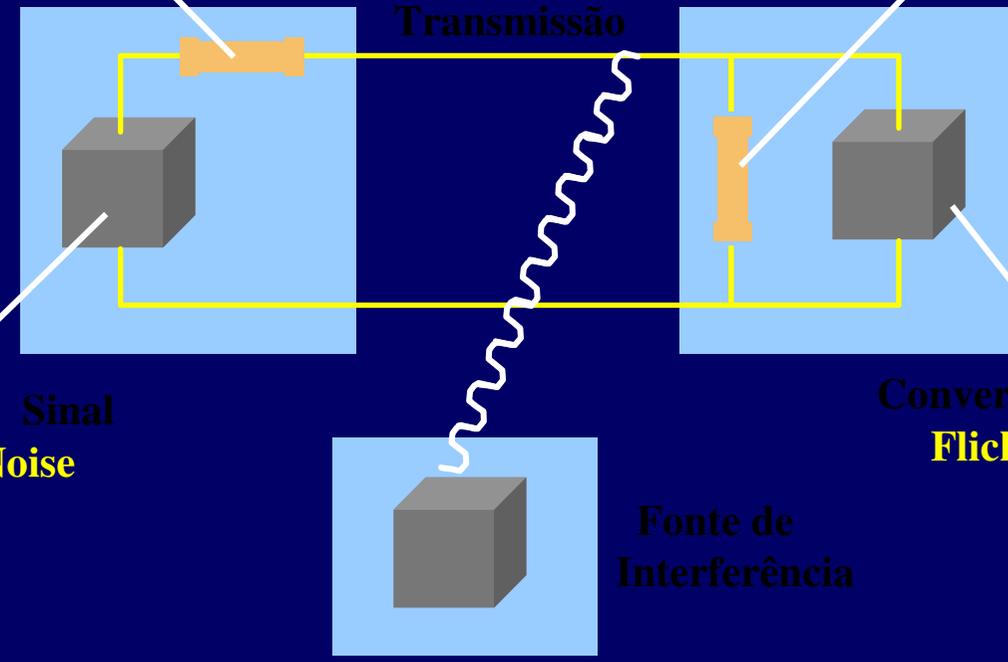
Resistência de Carga  
**Johnson Noise**

Linhas de  
Transmissão

Fonte de Sinal  
**Shot Noise**

Conversor de Sinal  
**Flicker Noise**

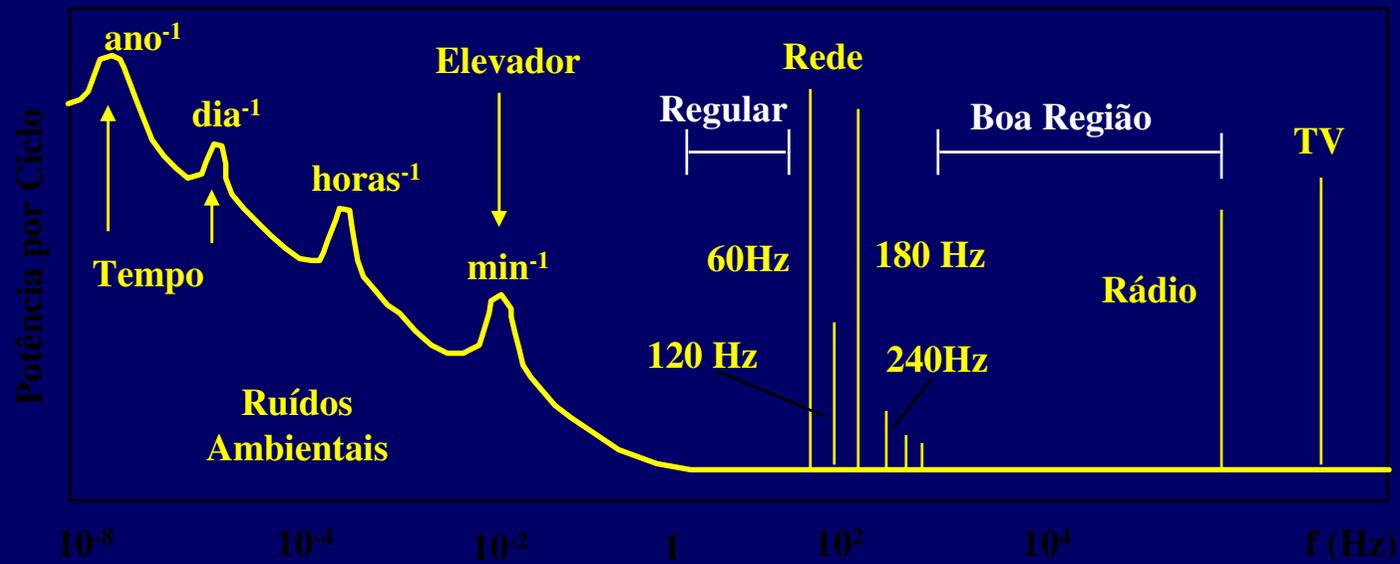
Fonte de  
Interferência



# Ruído e Interferência

GIA

Caracterizados pelo espectro de frequência e distribuição de amplitude



# Materiais Semicondutores

GIA



● Elétron —

$\rho$  = resistividade

# Semicondutores

GIA

Um semicondutor, apresentam condutividade intermediária entre casos extremos (isolante e um condutor)



Ge



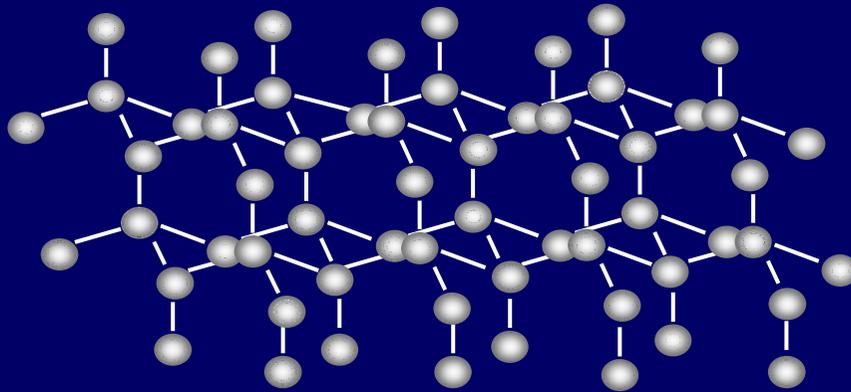
Si

# Silício e Germânio

GIA

## Elementos do grupo IV da tabela periódica

### Rede Cristalina do Silício ou Germânio



● Silício ou Germânio

### Propriedades

**Banda de Valência:** 4 elétrons

**Resistividade:**  $\rho = 50 \Omega \cdot \text{cm}$  (Ge)  
 $\rho = 50 \times 10^{+3} \Omega \cdot \text{cm}$  (Si)

**Energia:**  $E_g = 1,10 \text{ eV}$  (Si)  
 $E_g = 0,67 \text{ eV}$  (Ge)

**Temperatura:** Coeficiente de temperatura negativo

**Pureza:** 1 parte por 10 bilhões

# Silício e Germânio

GIA

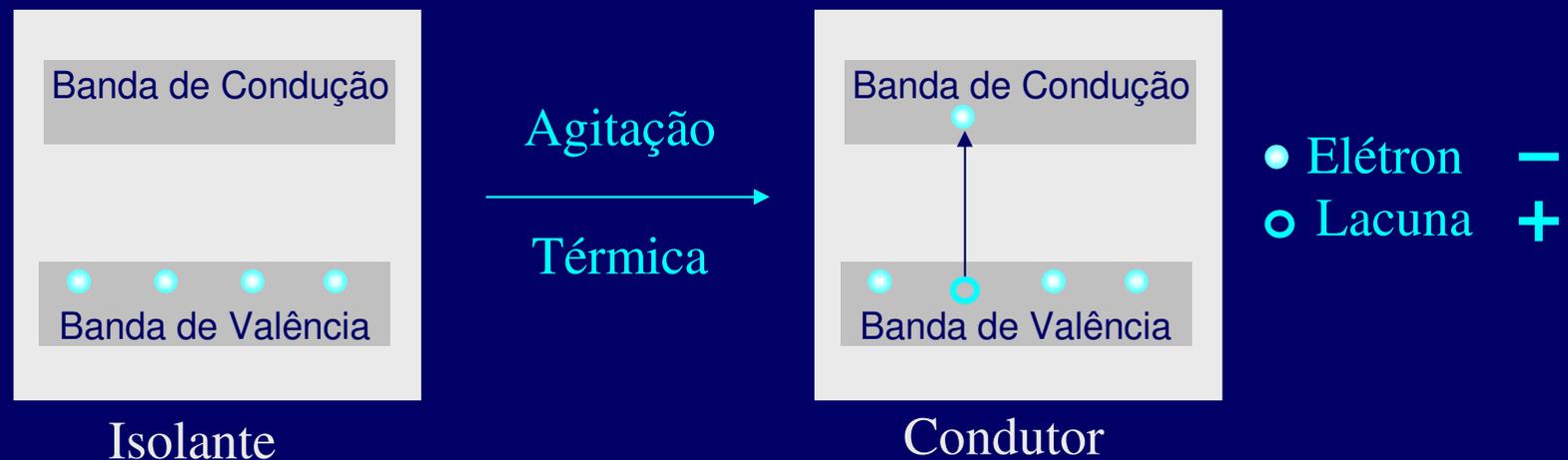
## Características

Os 4e<sup>-</sup> da banda de valência combinam-se com e<sup>-</sup> de outros átomos vizinhos para formar ligações covalentes.

A princípio não há elétrons livres e assim, o material deveria ser um isolante.

A temperatura ambiente a agitação térmica é suficiente para liberar, ocasionalmente, um e<sup>-</sup> para a banda de condução.

Assim, é permitida a condução de corrente elétrica



# Elétron / Lacuna

GIA

**Elétron** ● (—)

Movimenta-se na banda de condução contribuindo para a condutância elétrica do cristal

**Lacuna** ○ (+)

A Lacuna, associada ao átomo de silício, também pode se mover contribuindo para a condutância elétrica do cristal

**Mecanismo de movimento da lacuna**

O elétron de um átomo vizinho (Si ou Ge) salta para uma região deficiente em elétron (lacuna) deixando uma lacuna positiva em seu rastro.



A condução de um semicondutor envolve o movimento de elétrons térmicos em uma direção e de lacunas em outra direção.

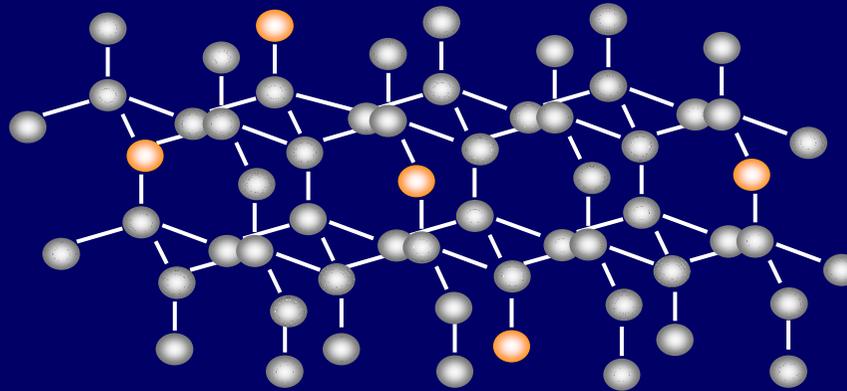
# Materiais tipo n e p

GIA

**Dopagem:** processo pelo qual uma impureza é introduzida, em uma quantidade mínima e controlada, em um cristal de silício ou germânio para aumentar a sua condutividade

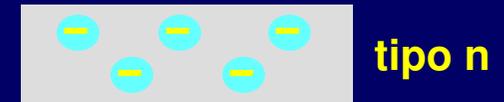
Impureza  
Elementos  
Grupo V

Materiais  
tipo n



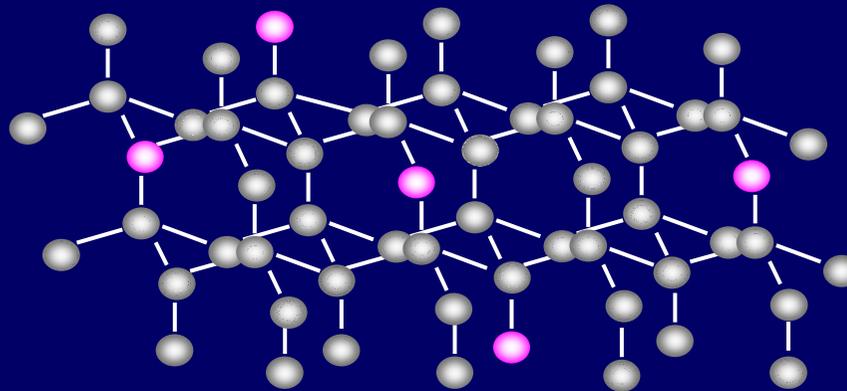
● Antimônio, Arsênio ou Fósforo

Agente dopante (●)  
5 elétrons de valência  
Portador Majoritário (⊖)  
Elétrons  
Portador Minoritários (⊕)  
Lacunas



Impureza  
Elementos  
Grupo III

Materiais  
tipo p



● Boro, Gálio ou Índio

Agente dopante (●)  
3 elétrons de valência  
Portador Majoritários (⊕)  
Lacunas  
Portador Minoritários (⊖)  
Elétrons



# Diodos

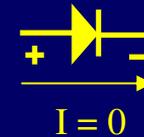
GIA

Diodos são dispositivos de dois terminais construídos através da junção de materiais do tipo p e n

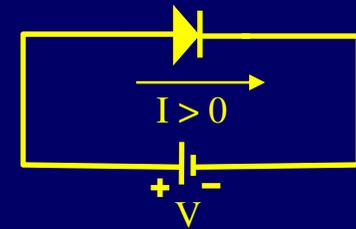
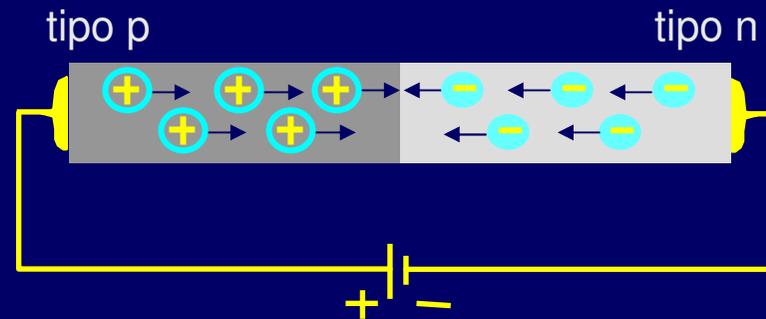
*Sem Polarização*



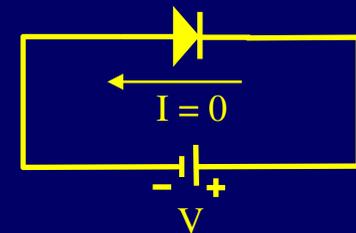
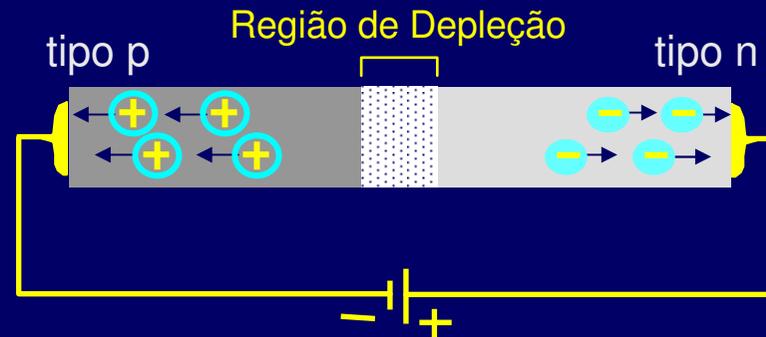
Diodo ideal



*Polarização Direta*



*Polarização Reversa*



# Diodos

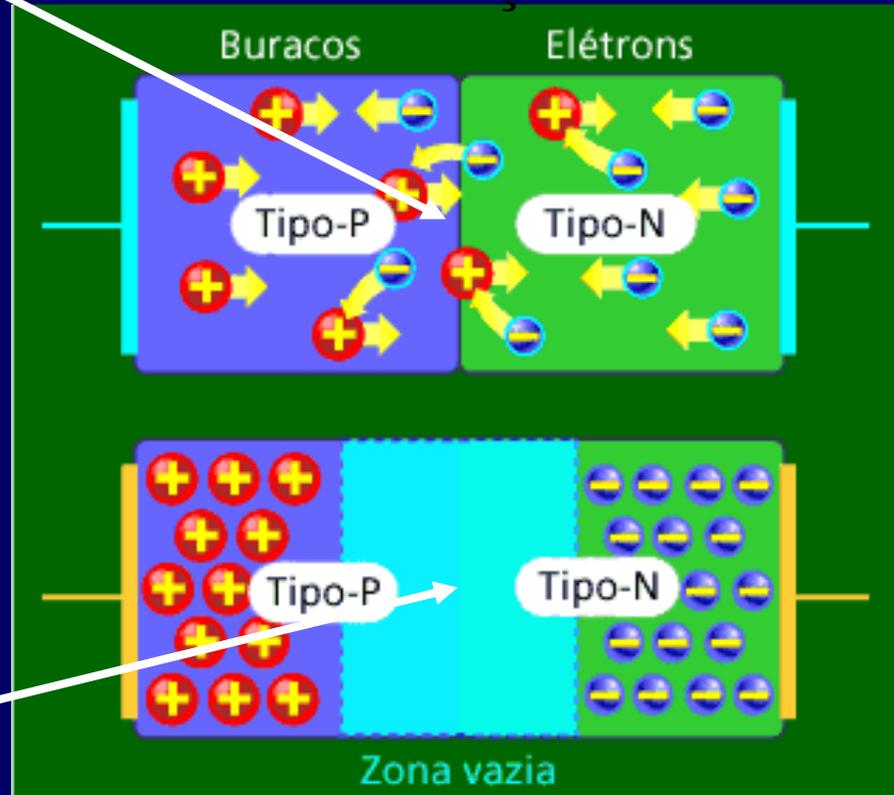
GIA

P

N

recombinação de portadores

Polarização direta



Zona ou Barreira de Depleção

Polarização Recersa

# Diodos

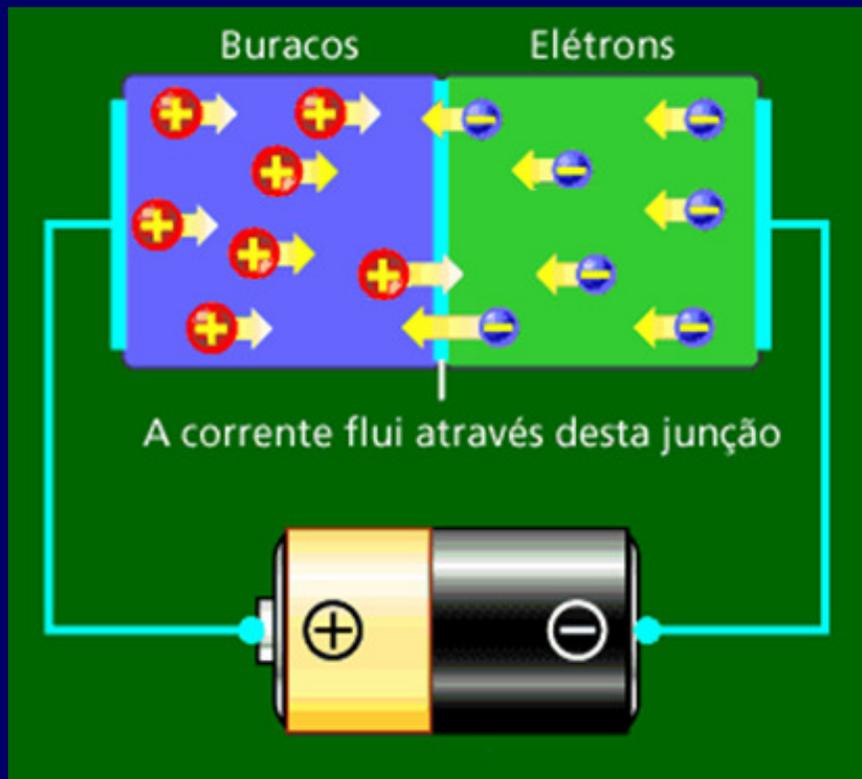
GIA

Corrente Convencional (+)

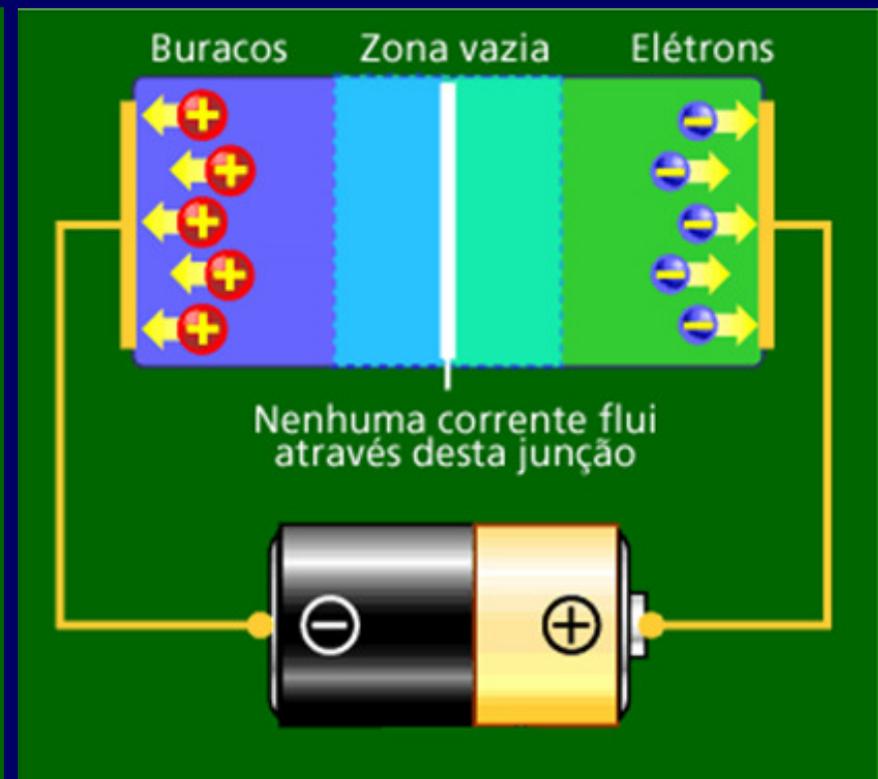
Corrente de elétrons

Corrente Convencional (+)

Corrente de elétrons



Polarização DIRETA



Polarização INVERSA

# Diodos

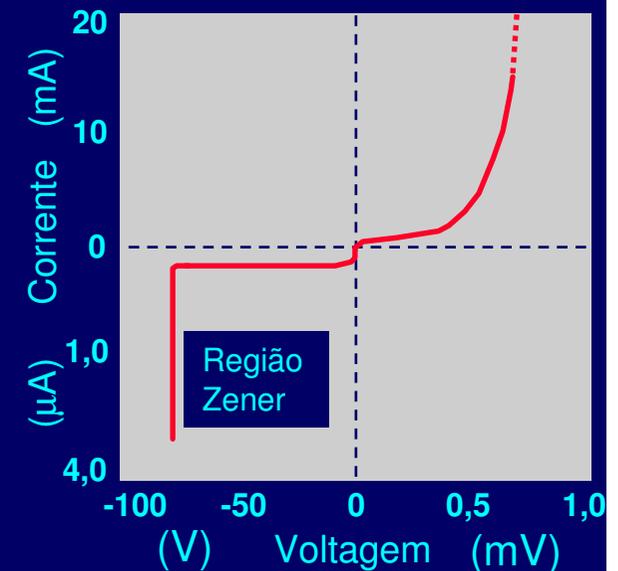
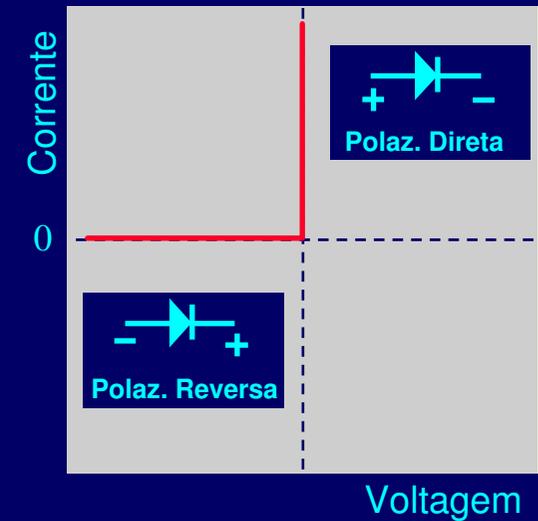
GIA

## Diodo ideal

- Permite a condução de corrente somente em uma direção
- A resistência para a polarização direta é igual a zero (condutor)
- A resistência para a polarização reversa é infinita (circuito aberto)

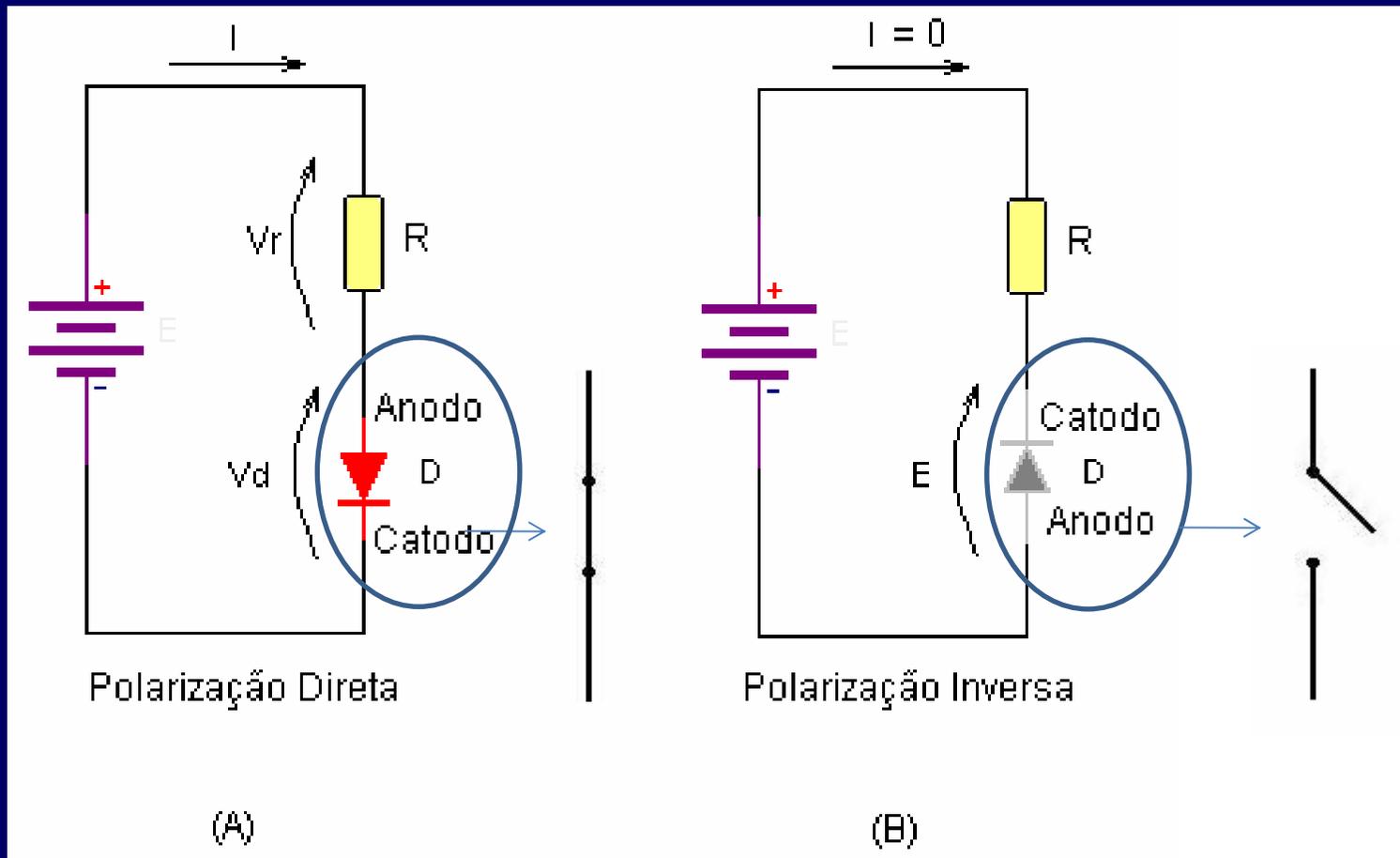
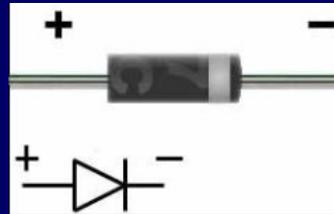
## Diodo Real

- Permite a condução de corrente, com diferentes valores, para as duas direções
- Possui um pequeno valor de resistência para a polarização direta
- Possui um grande valor de resistência para a polarização reversa
- Mesmo sobre polarização reversa possui uma região de condução (Região Zener)



# Diodo

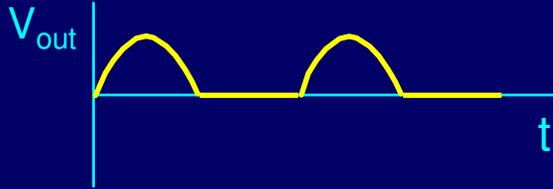
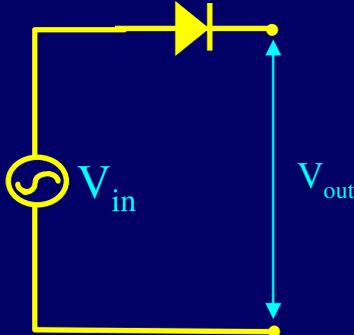
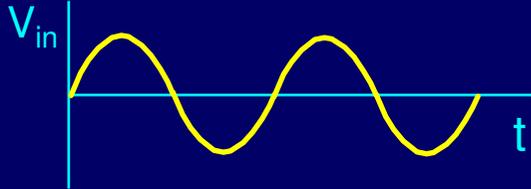
GIA



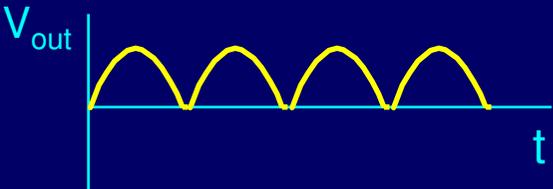
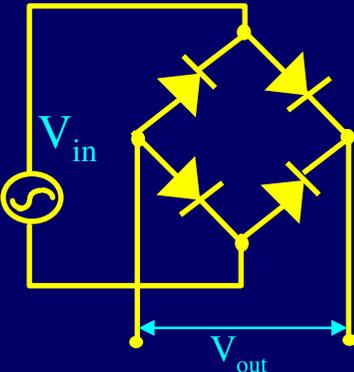
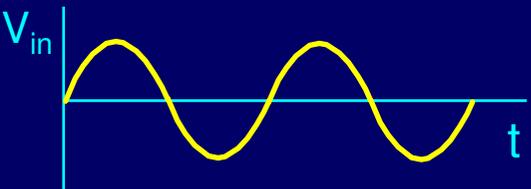
# Aplicações de Diodo



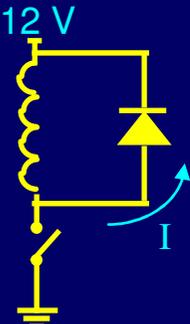
Retificador de meia onda



Retificador de onda inteira



Proteção



# Diodo Zener

GIA

Diodos tipo Zener são produzidos controlando o nível de dopagem de forma a variar o potencial da Região Zener

## Disponíveis Comercialmente

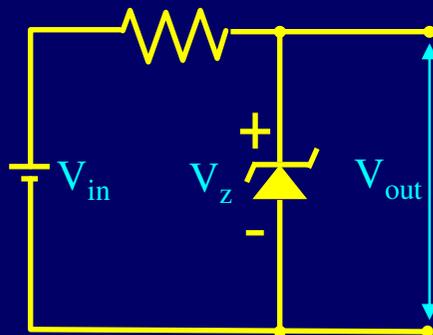
Potencial Zener ( $V_z$ ): 1,8 a 200 volts

## Símbolo



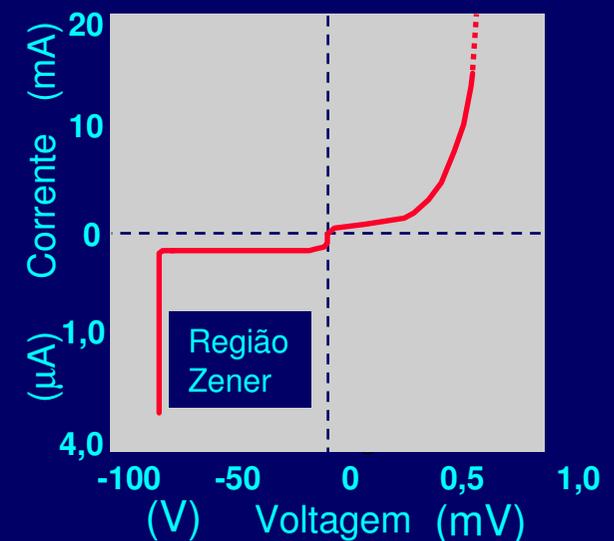
## Aplicação

Fonte de Referência ou Limitador



Para  $V_{in} > V_z \longrightarrow V_{out} = V_z$

No Diodo tipo Zener a polarização é reversa



# Tipos de Diodo

GIA

## Formas de Construção



## Principais Características de Diodos Semicondutores

Voltagem Direta ( $V_f$ ): 0,6 V a 1,1 V  
Corrente Direta ( $I_f$ ): 1,0 mA a 40 A

Voltagem Reversa ( $V_R$ ): 30 V a 1000V  
Corrente Reversa ( $I_R$ ): 1,0 pA a 50  $\mu$ A

## Principais Características de Diodos Zener

Voltagem Zener ( $V_z$ ): 1,8 a 200 V  
Tolerância: 2 a 20%

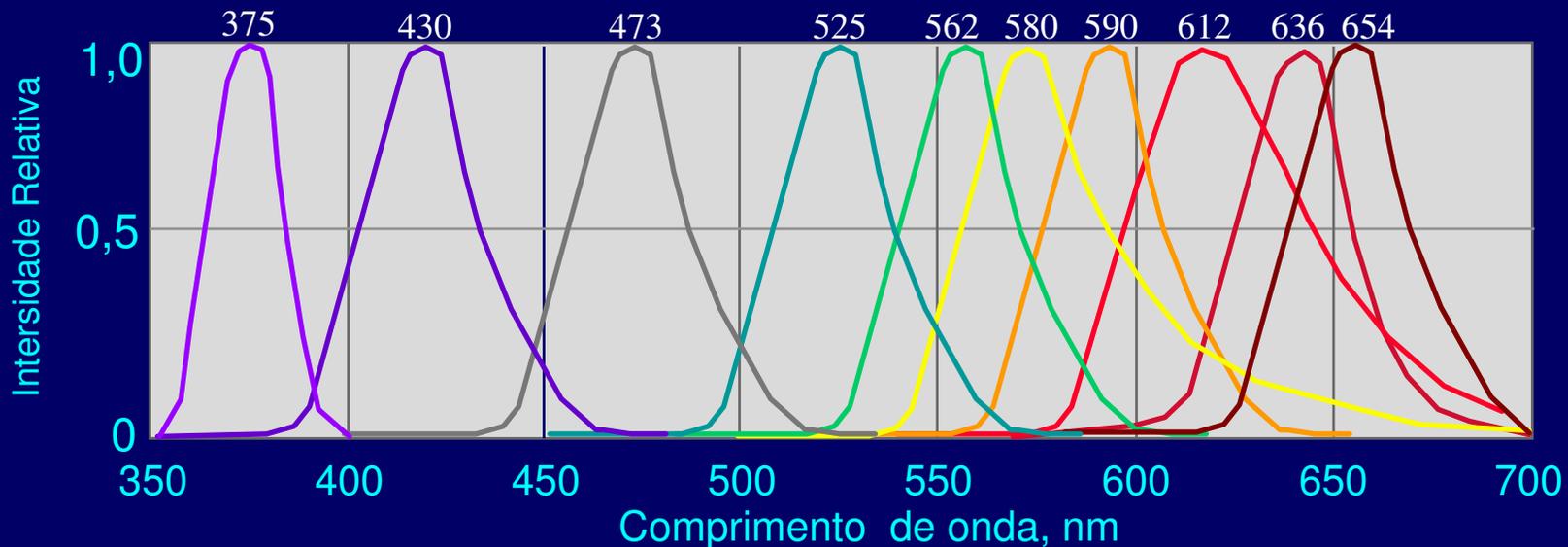
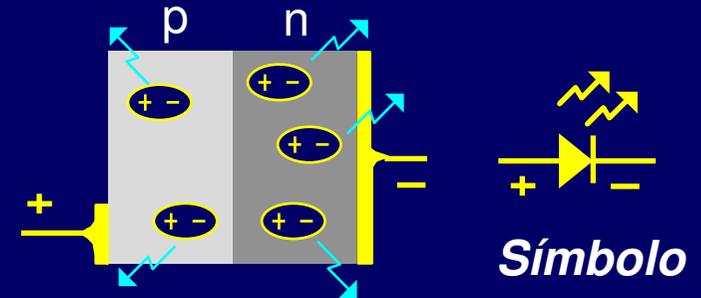
# Diodo Emissor de Luz - LED

GIA

Recombinação elétron-lacuna em materiais p-n causa uma perda de energia na forma de calor ou de luz

Silício ou Germânio: maior parte da perda de energia é na forma de calor

Diodos preparados com Gálio(Ga), Arsênio(As), Índio(In), Fósforo(P), Alumínio(Al) e Nitrogênio(N) perda de energia preferencialmente na forma de luz



# Diodo Emissor de Luz LED

GIA

A cor é determinada pelo tipo de material utilizado no semicondutor.

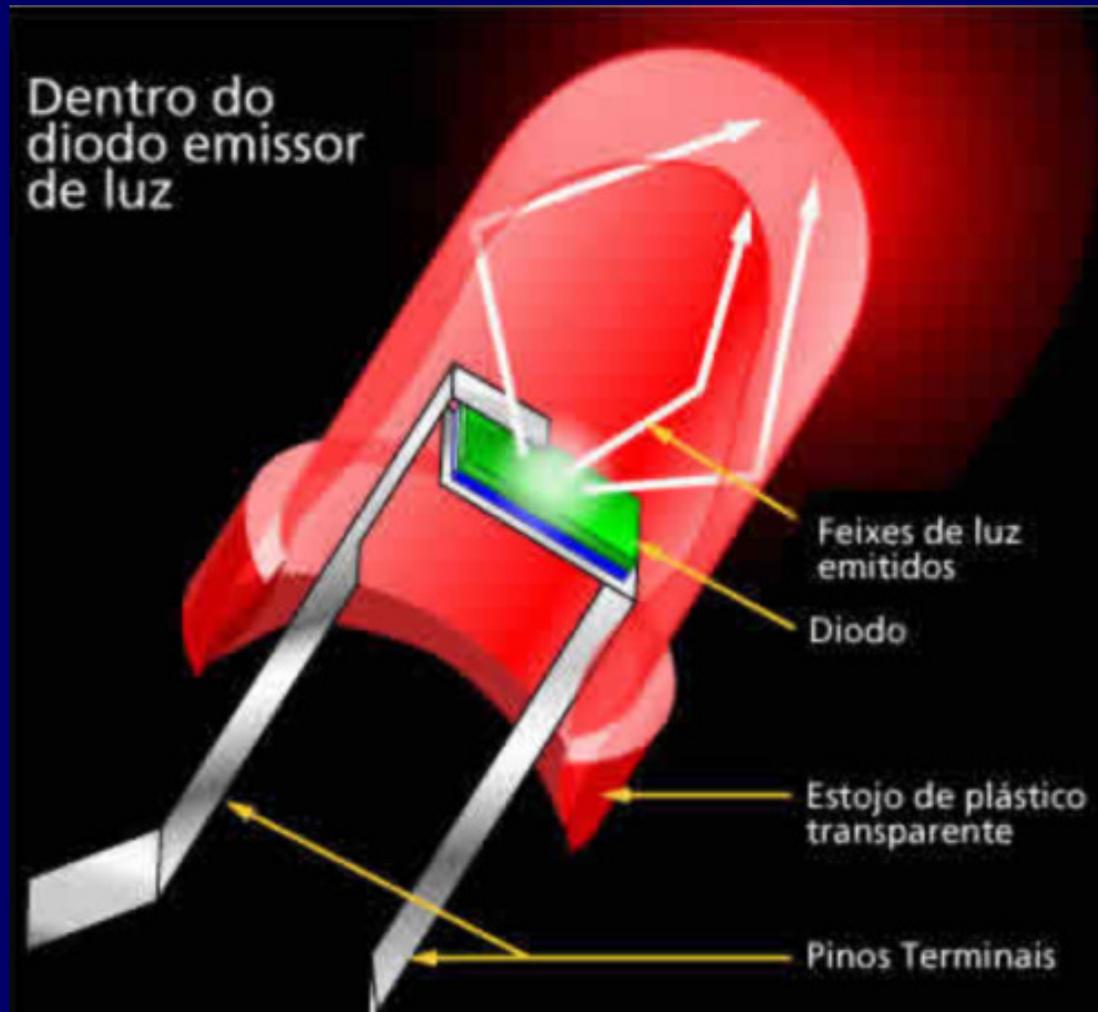
- AlGaInP / AlInGaP – produzem luz vermelha, laranja e amarela;
- InGaN – produzem luz azul e verde;

A porcentagem de cada elemento na mistura determinará o comprimento de onda da luz emitida pelo diodo'.



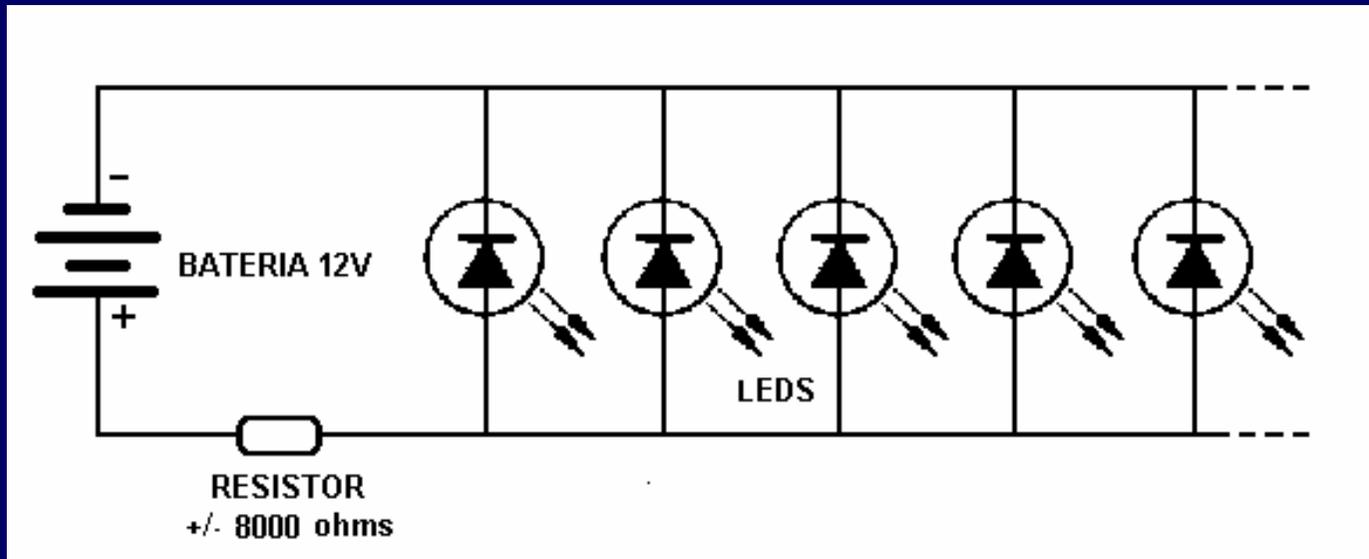
# Diodo Emissor de Luz LED

GIA



# Diodo Emissor de Luz LED

Os LED's devem sempre estar ligados em serie com um resistor.



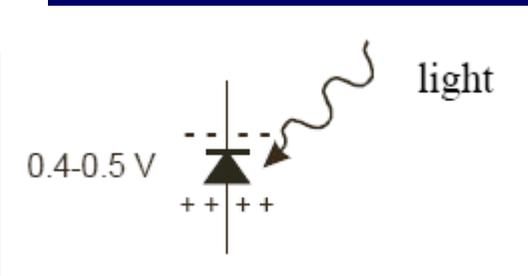
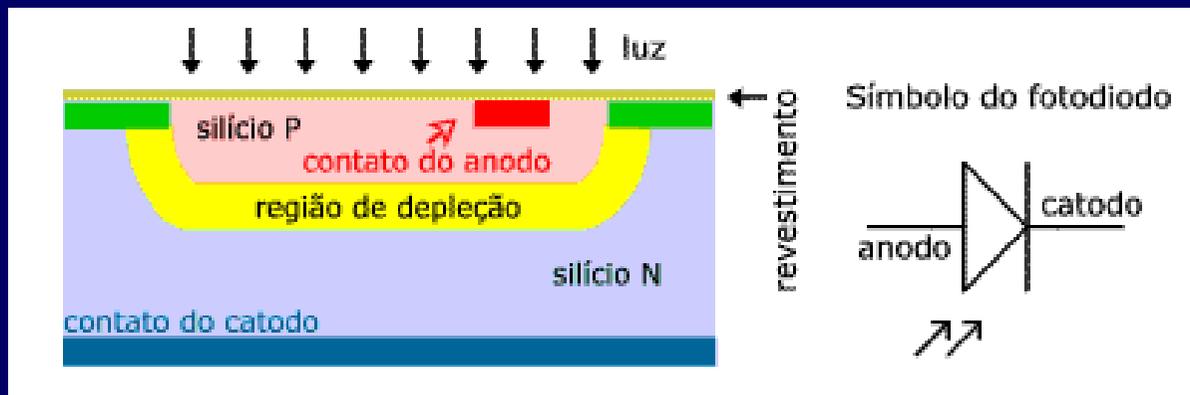
O principal parâmetro de projeto envolvendo um LED é a corrente máxima de trabalho.

# FotoDiodo

GIA

Possuem uma junção semicondutora, que tem a propriedade de variar a corrente elétrica em função da intensidade da luz (número de fótons) nela incidente.

Na polarização direta, a luz que incide sobre o fotodiodo permite a passagem de corrente através do dispositivo

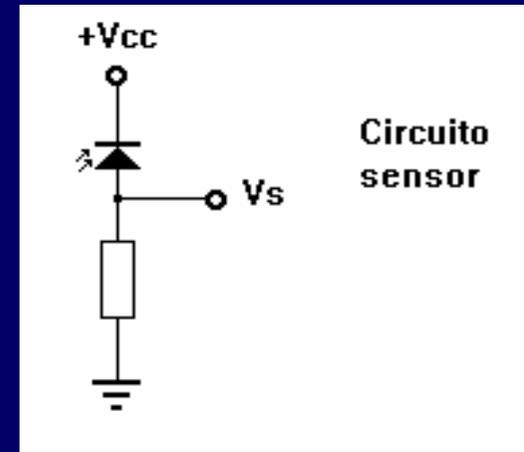
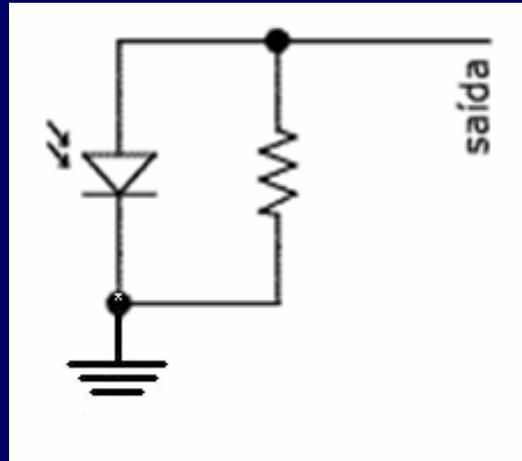


# FotoDiodo

GIA

Um fotodiodo pode operar no modo *fotovoltaico*, isto é, sem nenhuma polarização. (pouco usado)

No modo *fotocondutivo*, o fotodiodo é polarizado por um potencial de uma fonte externa.



## Aplicações

- Sensor crepuscular nos sistemas de iluminação pública
- Acopladores Ópticos
- Transdutores em instrumentos de análise

# Fontes de Voltagem

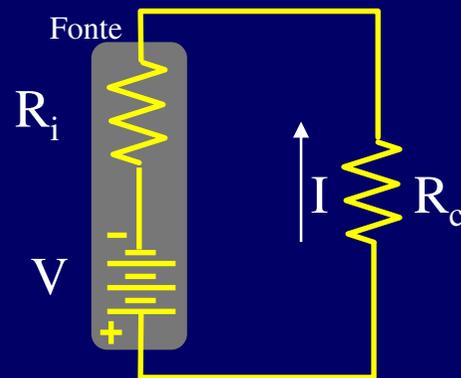
GIA

## Fonte Ideal

Dispositivo de dois terminais que mantém uma voltagem constante independente da resistência de carga (independente da corrente)

## Fonte Real

A voltagem permanece constante até um valor máximo de corrente



$R_c > R_i$  : Tensão da Fonte cte

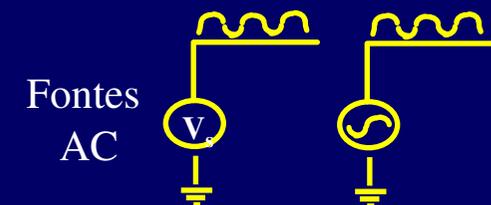
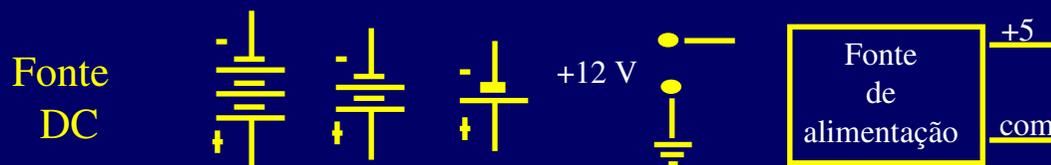
$R_c \sim R_i$  : Queda na tensão da fonte

$R_c \ll R_i$  : Curto-circuito

$R_c$  = Resistência de carga

$R_i$  = Resistência interna da Fonte

## Símbolos



# Fontes de Corrente

GIA

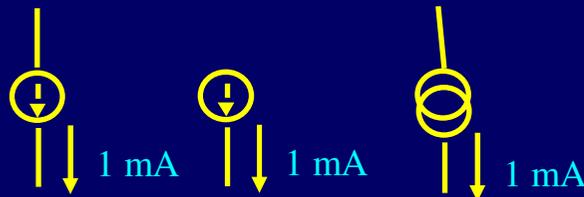
## *Fonte Ideal*

Dispositivo de dois terminais que mantém uma corrente constante independente da resistência de carga ou do potencial aplicado

## *Fonte Real*

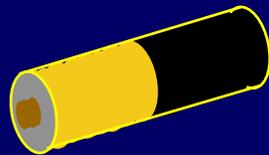
A corrente permanece constante até um valor máximo de voltagem

Símbolos



# Exemplos de Fontes Reais

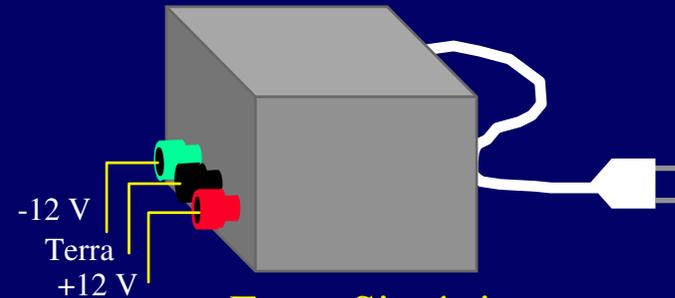
GIA



Pilha



Bateria



Fonte Simétrica

## Pilha

---

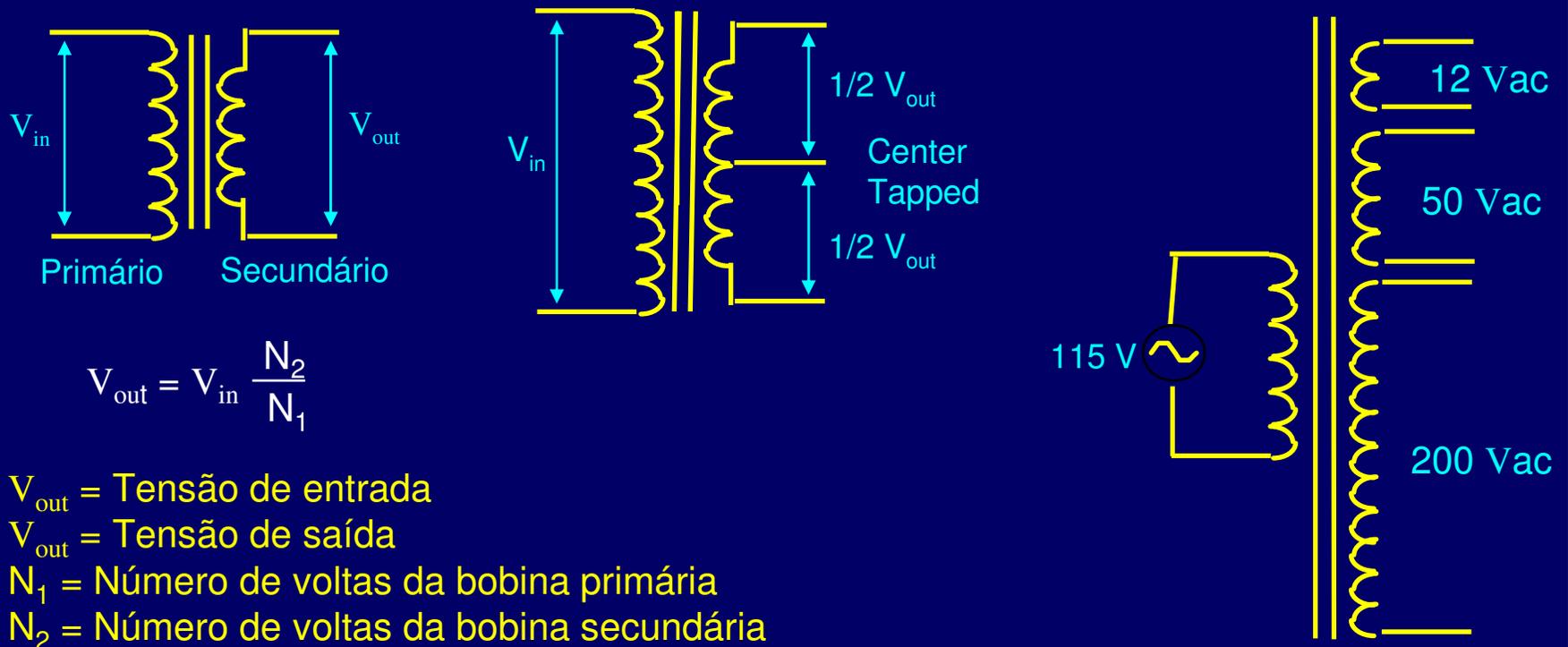
Tensão.....	1,5 Volts
Resistência interna.....	0,25 ohms
Capacidade de energia.....	10.000 W/s
Tensão de Fim de vida.....	1,0 volts
Resistência Interna de Fim de vida.....	Vários ohms

---

# Transformadores

GIA

Transformadores são dispositivos, normalmente, formados por duas bobinas montados de maneira que o campo magnético da primeira bobina (primário), quando submetido a uma tensão, induza uma tensão na segunda bobina (secundário)



$$V_{out} = V_{in} \frac{N_2}{N_1}$$

$V_{out}$  = Tensão de entrada

$V_{out}$  = Tensão de saída

$N_1$  = Número de voltas da bobina primária

$N_2$  = Número de voltas da bobina secundária

**Transformadores para instrumentos**

Primário: 110 ou 220 V

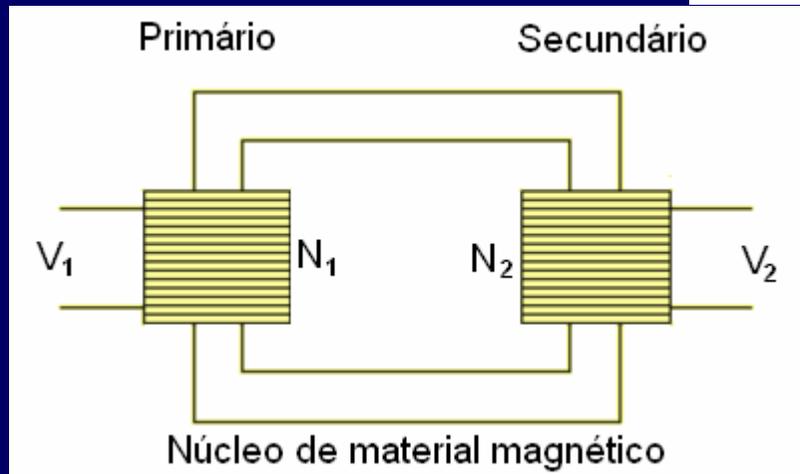
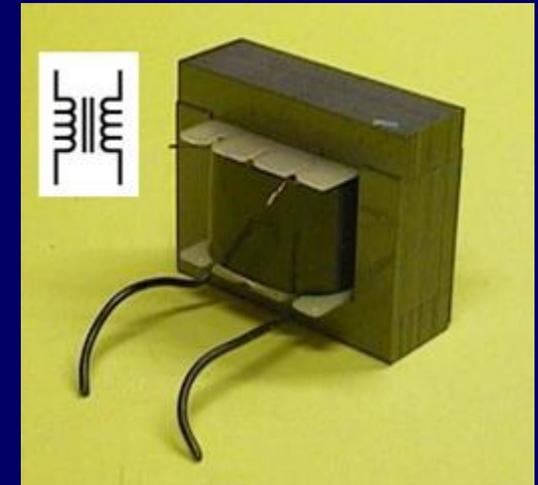
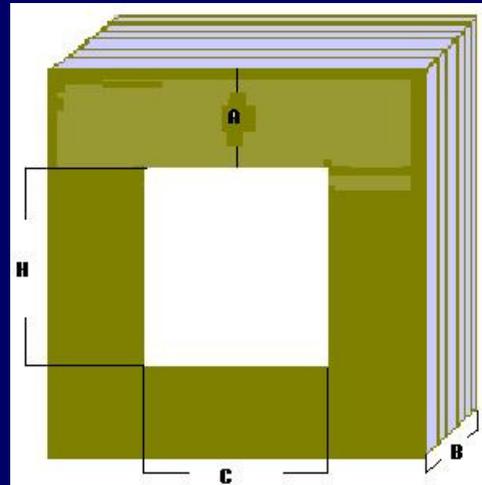
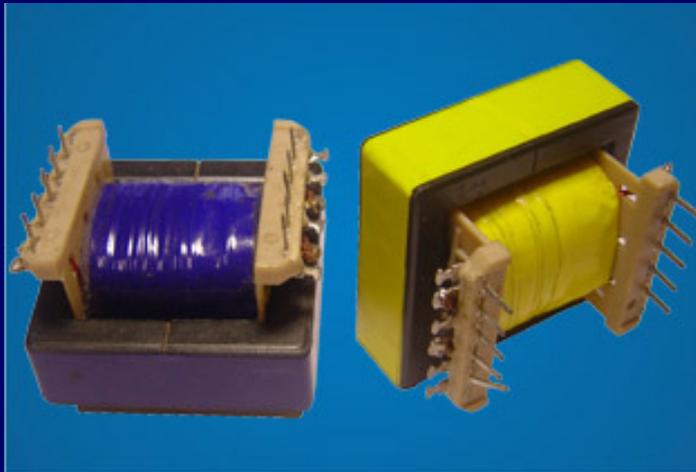
Secundário: 5 a 50 V

0,1 a 5 A

# Transformadores

GIA

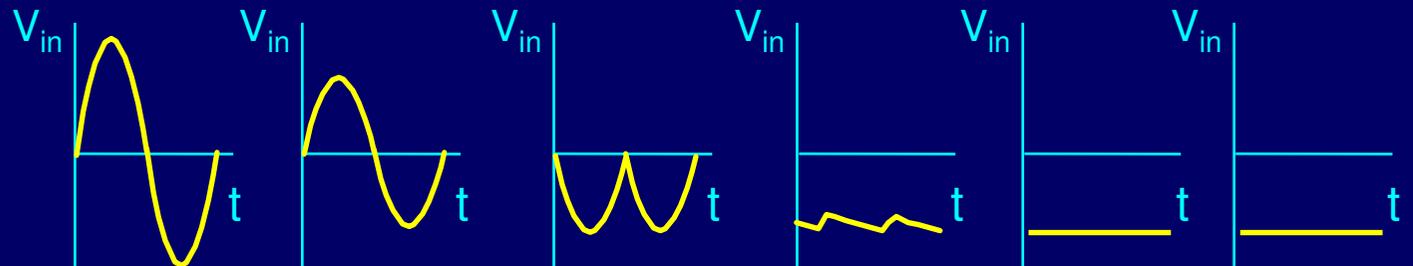
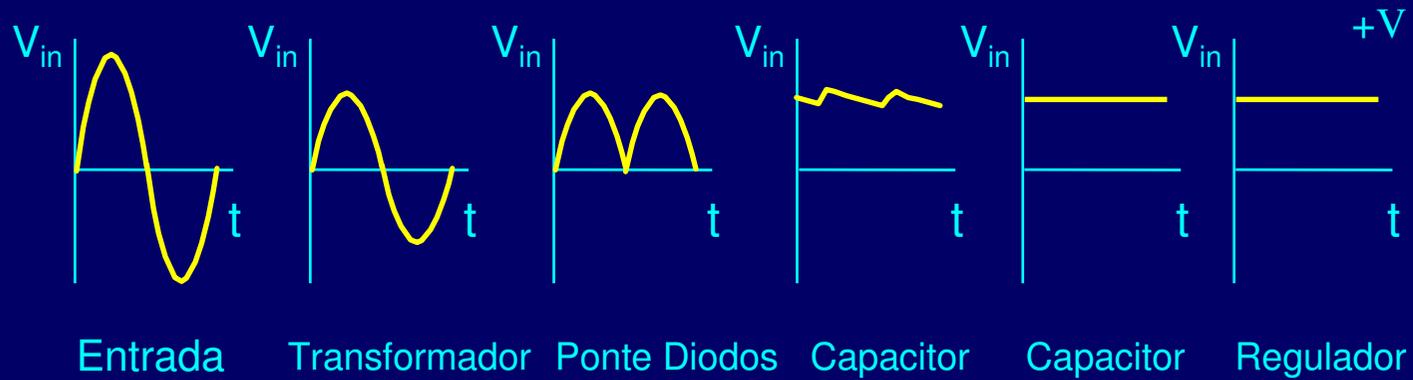
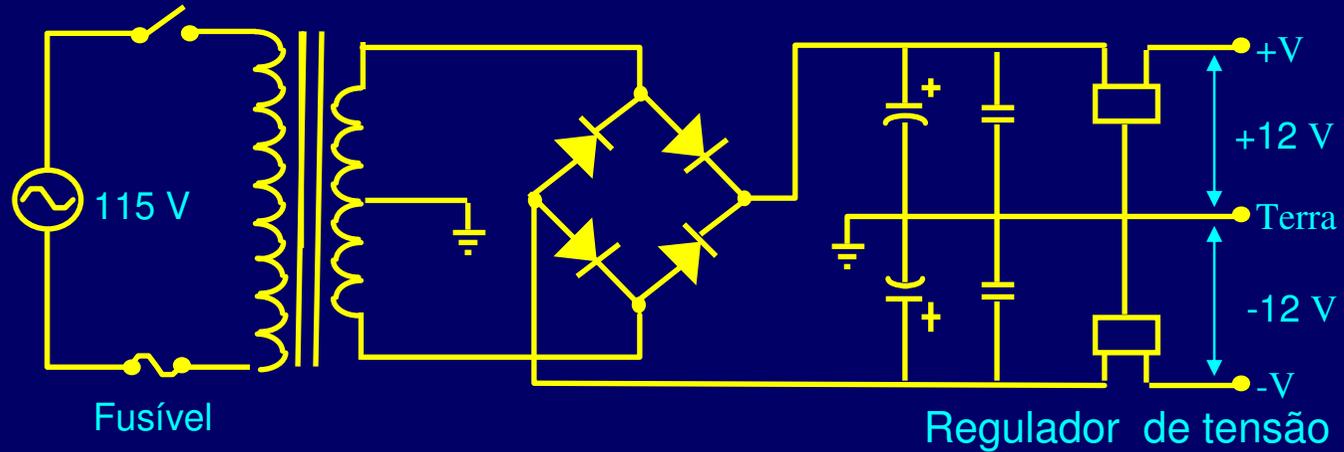
É uma máquina elétrica usada apenas em circuitos de corrente alternada. Transforma o valor da tensão de entrada em função do número de espiras dos enrolamentos. Pode ser monofásico e trifásico.



$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

# Fontes de Alimentação Simétrica

GIA



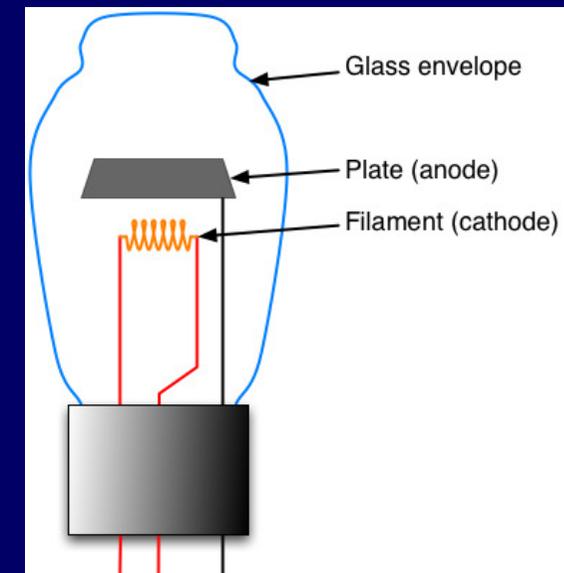
# VÁLVULAS

GIA

Em 1883 **Thomas Alva Edison** (1847-1931) trabalhando com lâmpadas observou que havia corrente entre uma placa metálica introduzida na lâmpada e ligada ao pólo positivo de uma bateria enquanto o filamento da lâmpada estava ligado ao pólo negativo. Na época, Edison não soube explicar o que estava acontecendo.

Este fenômeno (chamado "efeito termoiônico" ou "efeito Edison") deve-se ao fato do filamento, quando aquecido, emitir uma grande quantidade de elétrons que são atraídos pela placa, estabelecendo assim uma corrente elétrica.

**John Ambrose Fleming**, percebeu que a descoberta de Edison podia ser bastante útil para melhorar a recepção de sinais de rádio.



Esses dispositivos ficaram conhecidos como "**válvulas termoiônicas**". As primeiras válvulas eram do tipo "diodo" (possuíam dois eletrodos)

# VÁLVULAS

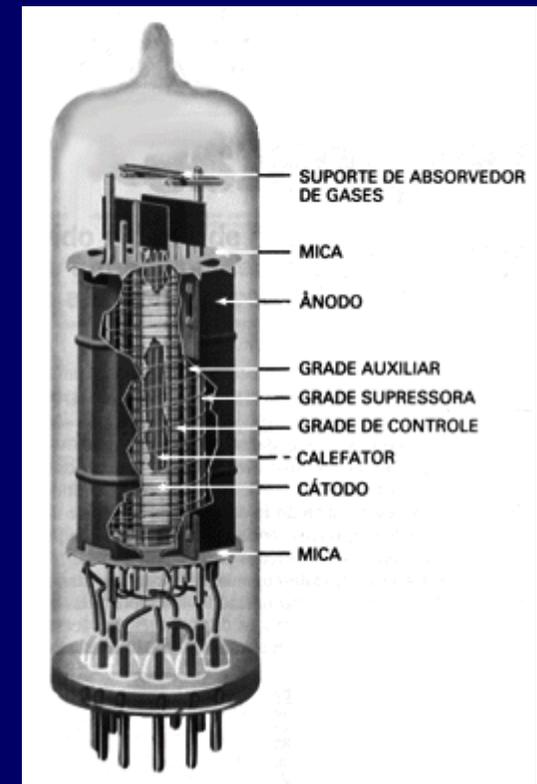
GIA

**Válvula termiônica** ou **válvula eletrônica** é um dispositivo eletrônico formado por um invólucro de vidro de alto vácuo chamada ampola contendo vários elementos metálicos.

Os elementos metálicos internos são, o **FILAMENTO** cuja função é o aquecimento do **CÁTODO** para a emissão de elétrons, a placa, ou **ANODO**, receptor de elétrons, a **GRADE** de **CONTROLE**, que aumenta ou diminui o fluxo eletrônico do cátodo ao ânodo, além de outras grades que podem formar as válvulas.

Válvulas que possuíam a grade de controle de Corrente eram do tipo "Triodo" (possuíam 3 eletrodos).

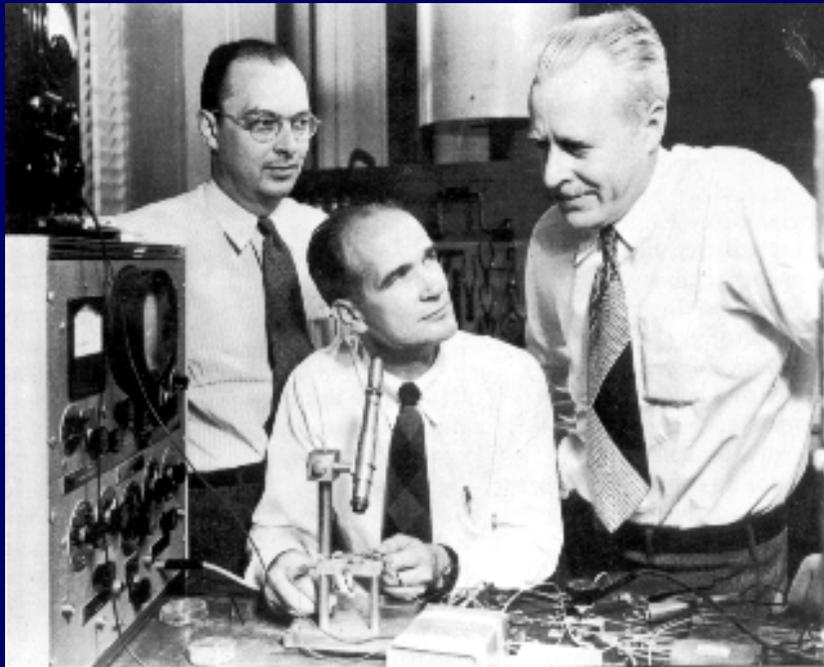
Até 1947 foi empregada como retificador, amplificador e controlador de Tensão entre outros



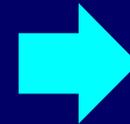
# Transistor

GIA

Nos laboratórios da Bell Telephone em 16 de dezembro de 1947



Bardeen, Schockley e Brattain

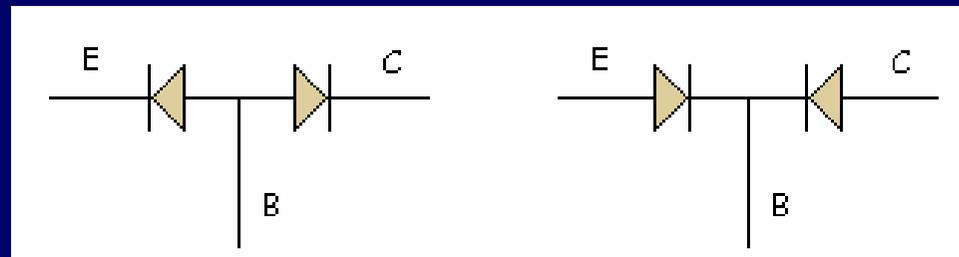
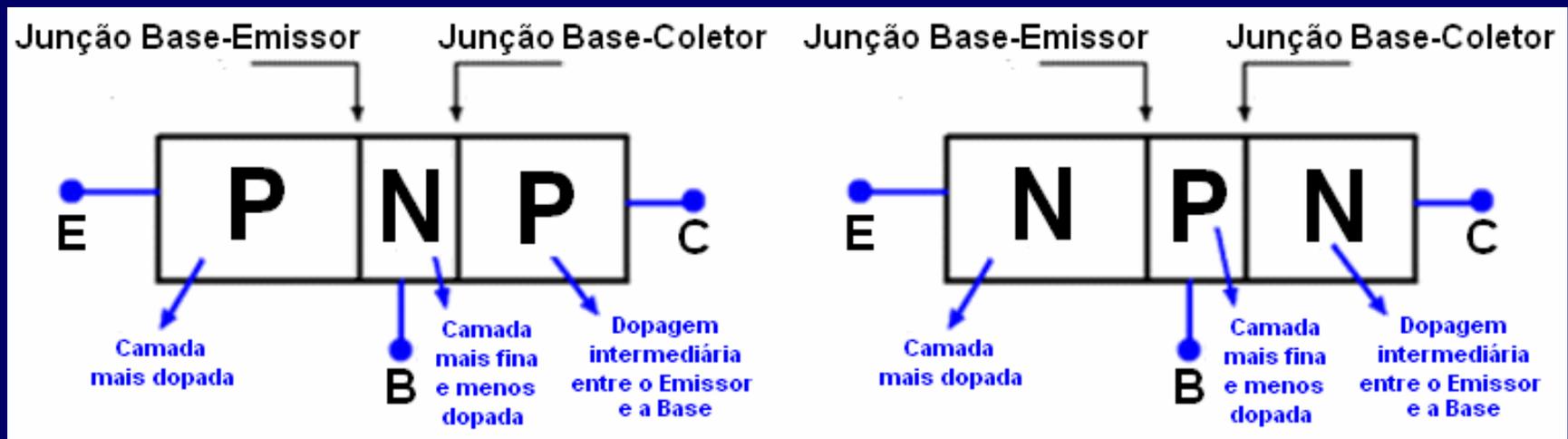


# Transistor

GIA

- O transistor bipolar é formado por duas junções p-n em série, podendo apresentar as configurações p-n-p e n-p-n.

**Terminais: Base (B) Coletor (C) e Emissor (E)**





COLETOR

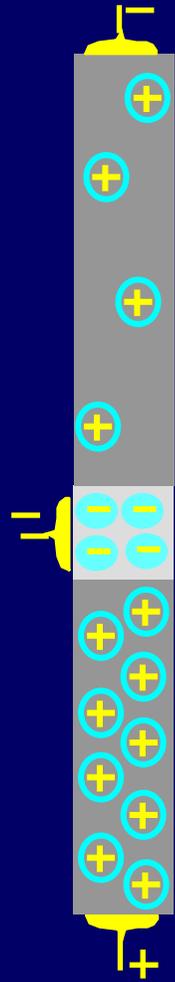
Material tipo p  
com baixo nível de  
dopagem

BASE

Material tipo n  
com dopagem média

EMISSOR

Material tipo p  
com alto nível de  
dopagem



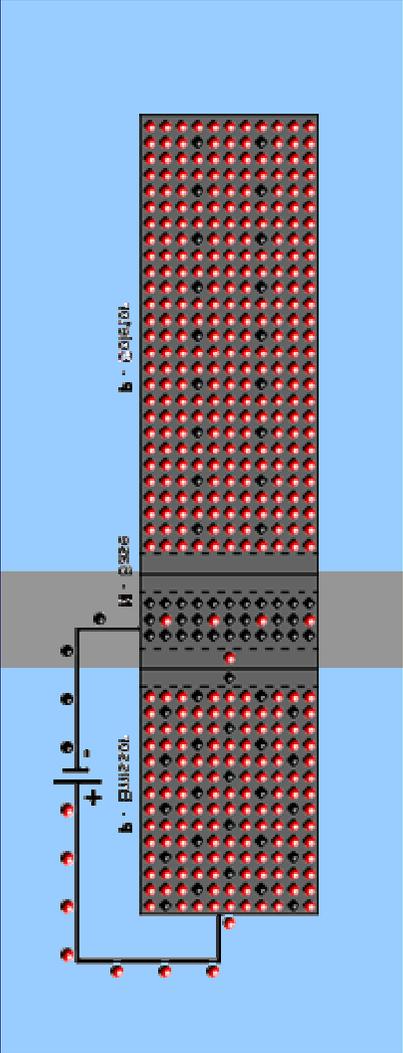
$I = 0$  Polarização Reversa

$I = 0$  Polarização direta

# Transistor PNP



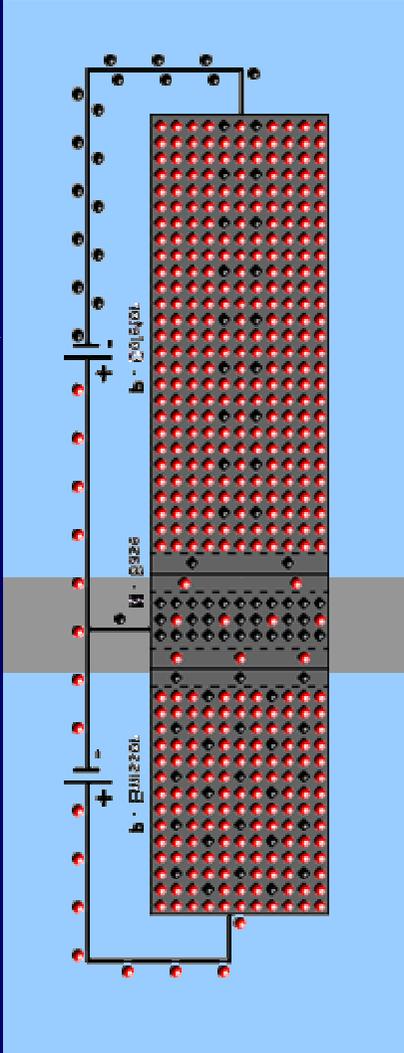
P  
N  
P



← COLETOR →

← BASE →

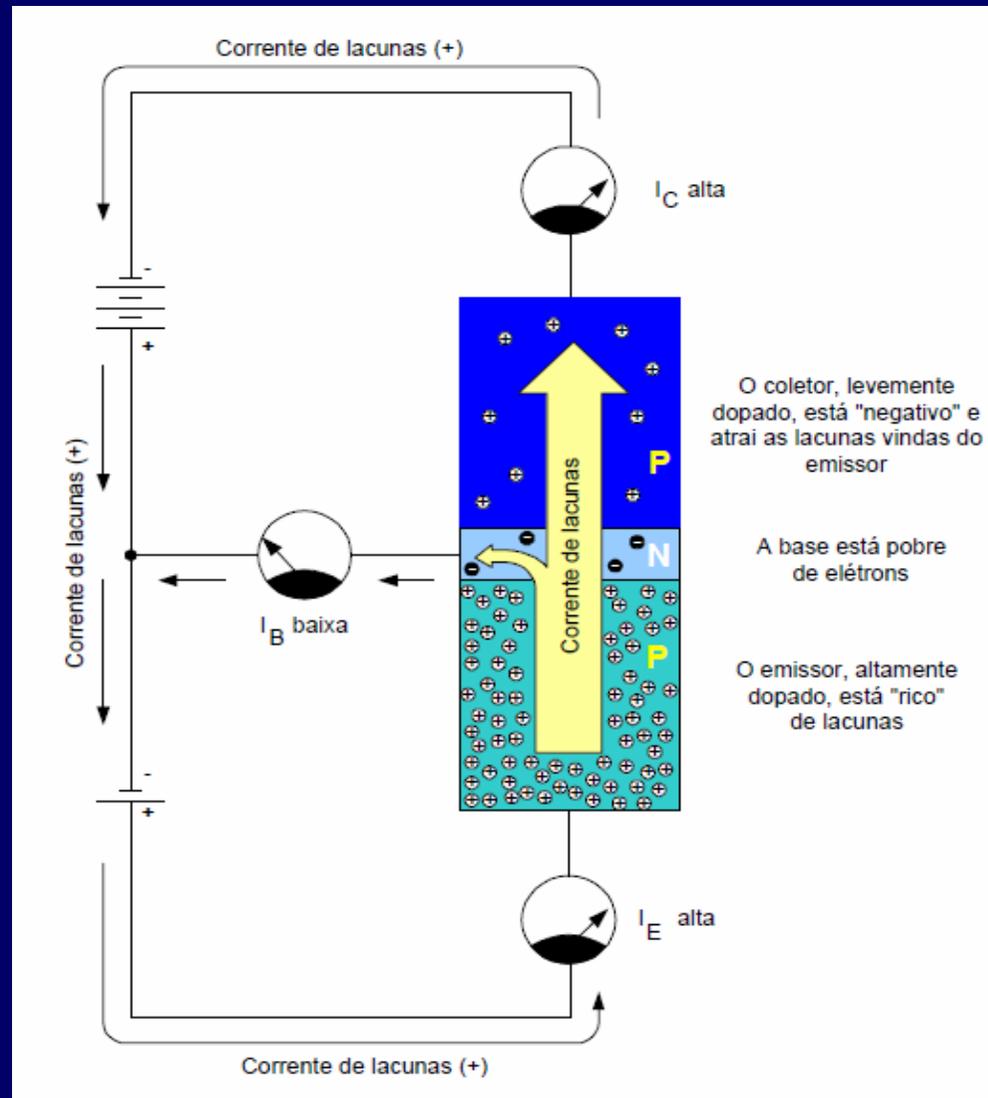
← EMISSOR →



P  
N  
P

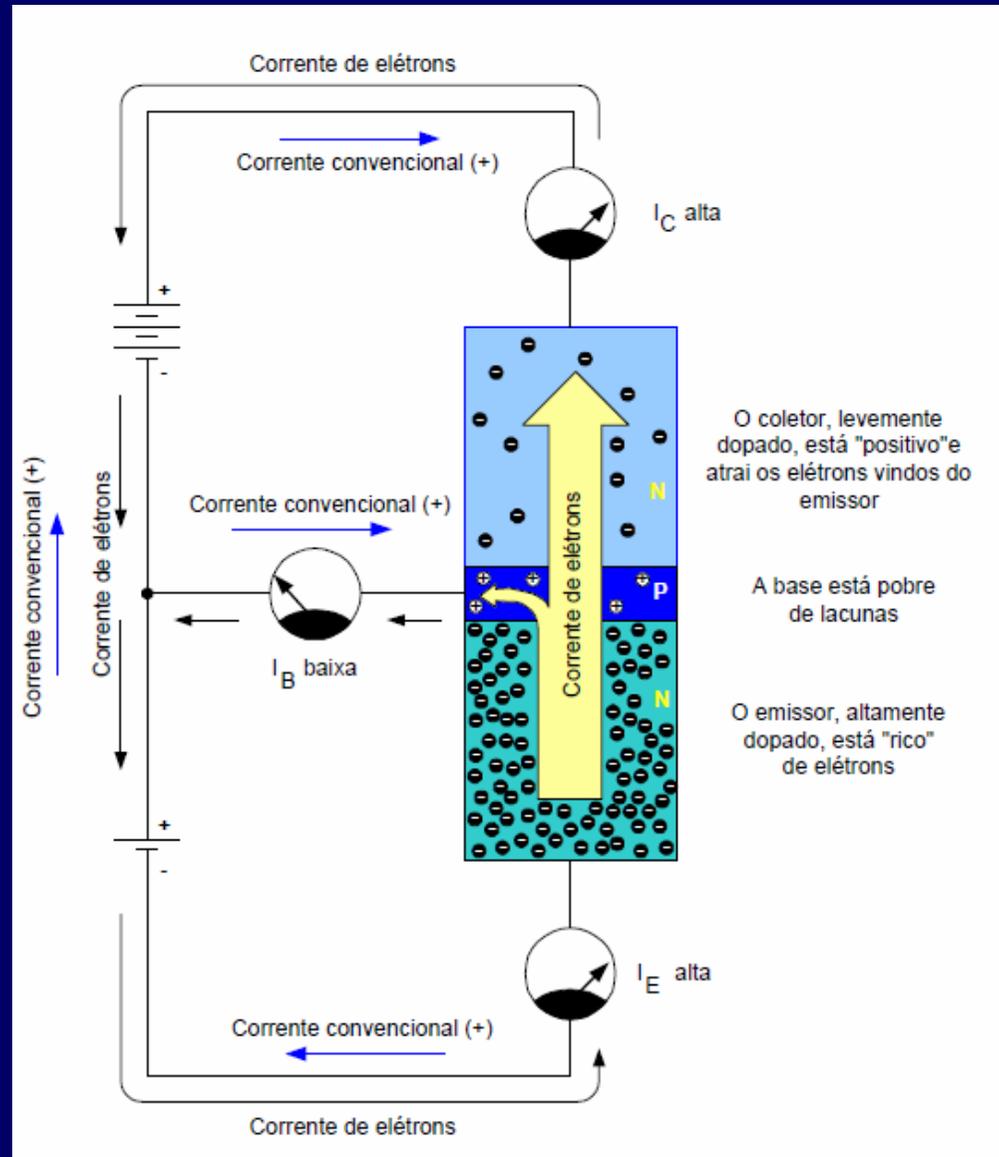
# Transistor Bipolar PNP

GIA



# Transistor Bipolar NPN

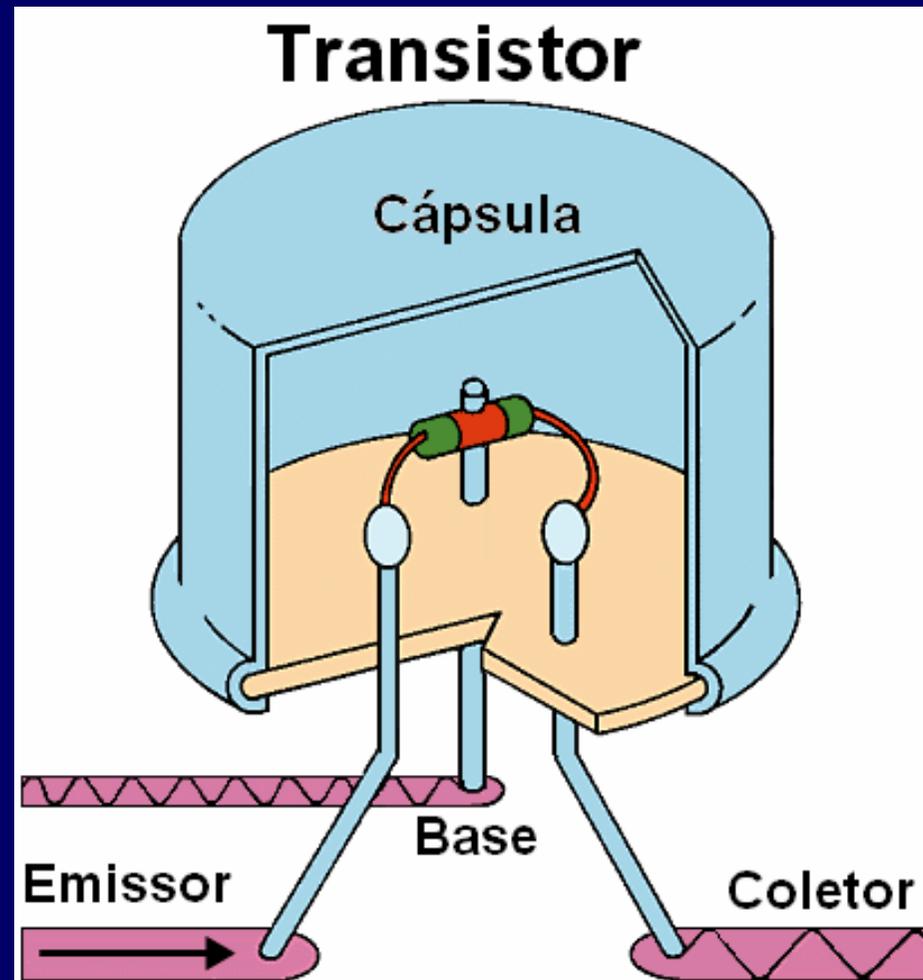
GIA



# Transistor Bipolar PNP

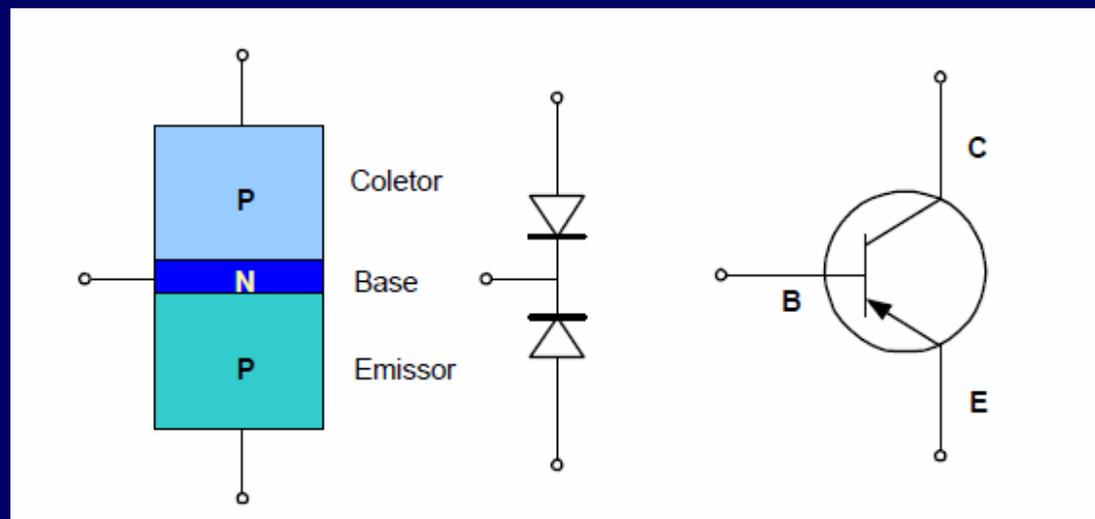
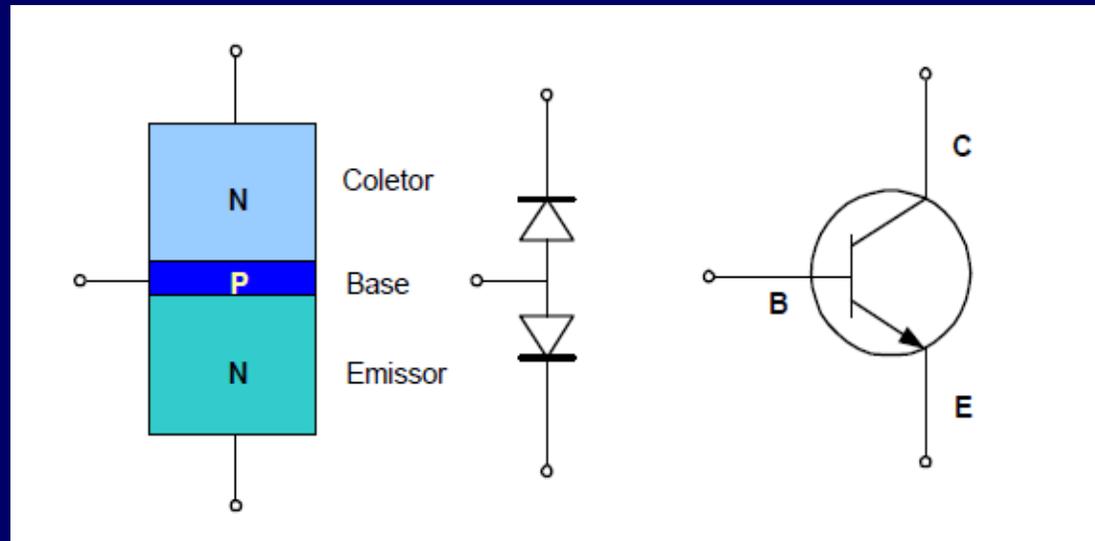
GIA

## Estrutura Interna de um Transistor

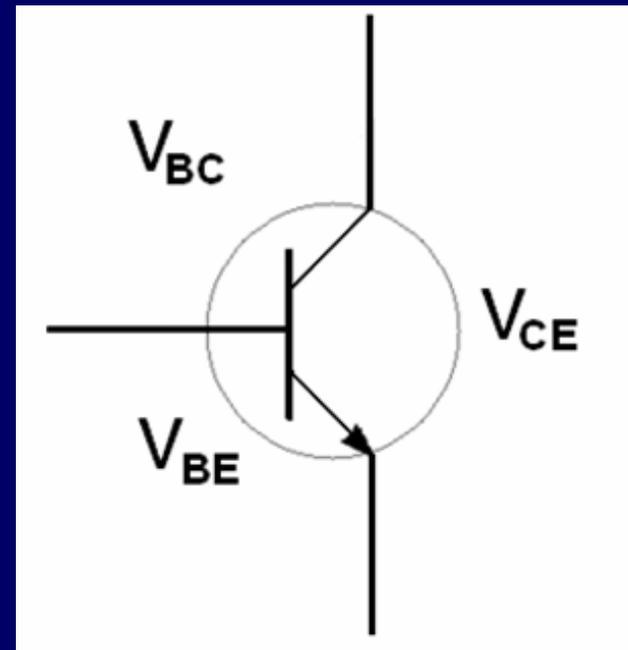
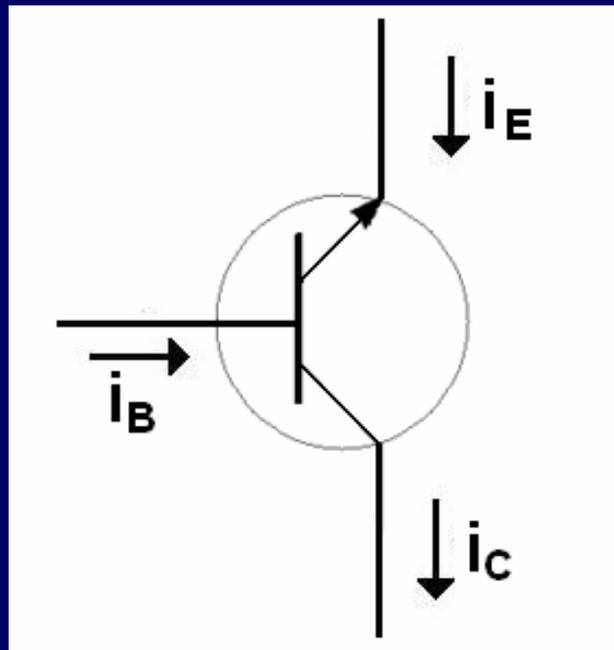


# Transistor Símbolo

GIA

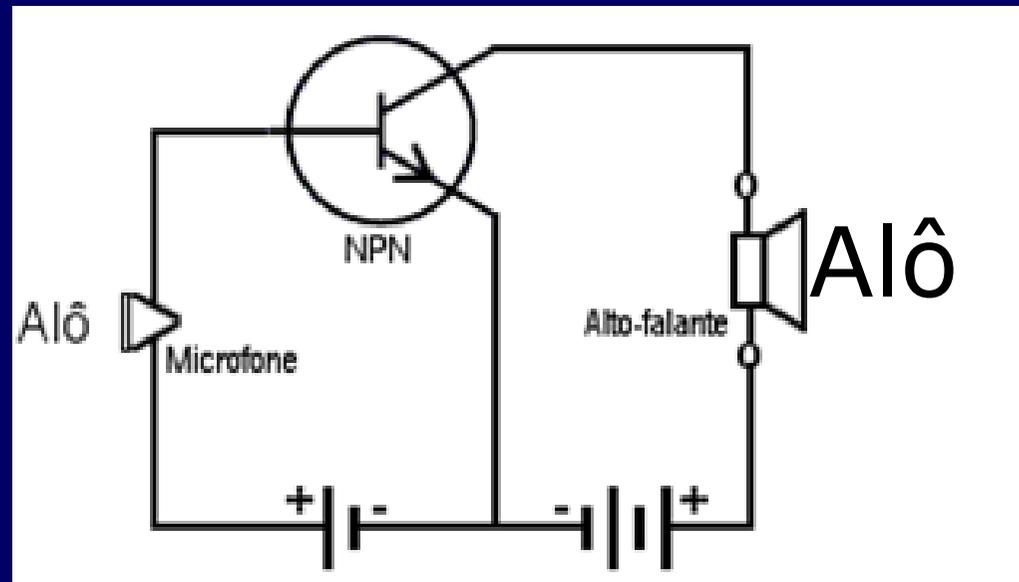


## Correntes e Tensões no Transistor



$$i_c = i_e + i_b$$

# Transistor Amplificação

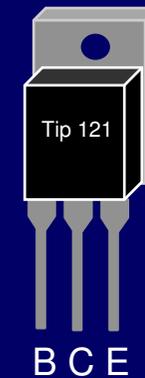
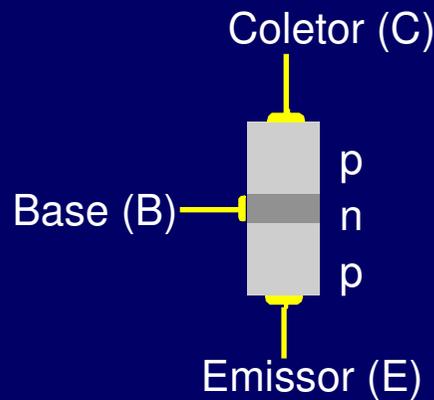
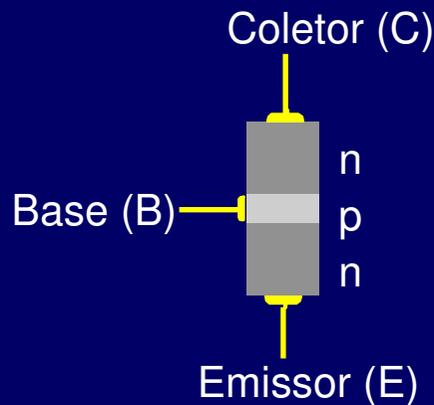


$$\beta = \frac{i_C}{i_B}$$

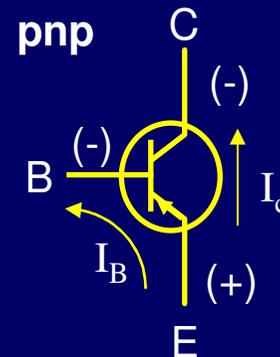
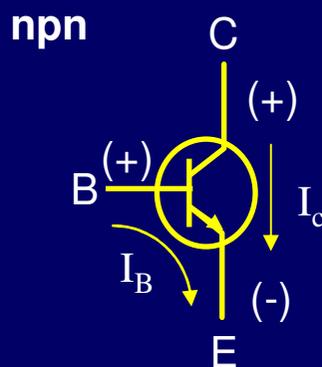
# Transistores

GIA

Transistores são dispositivos semicondutores de 3 terminais que amplificam significativamente o sinal de saída em relação ao sinal de entrada



## Símbolo Polarização e Corrente



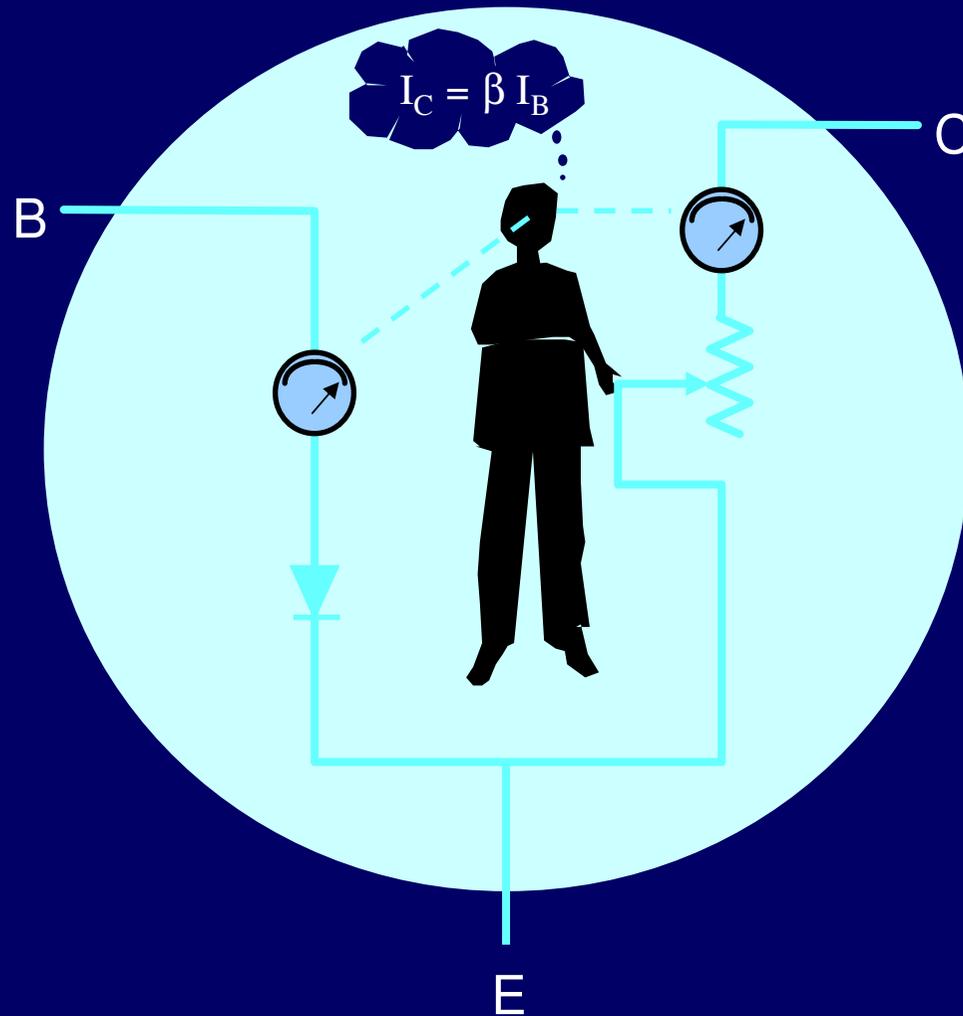
## Amplificação de Sinal

$$I_C = \beta I_B$$

$\beta$  varia tipicamente entre 20 a 200

# Homem Transistor

GIA

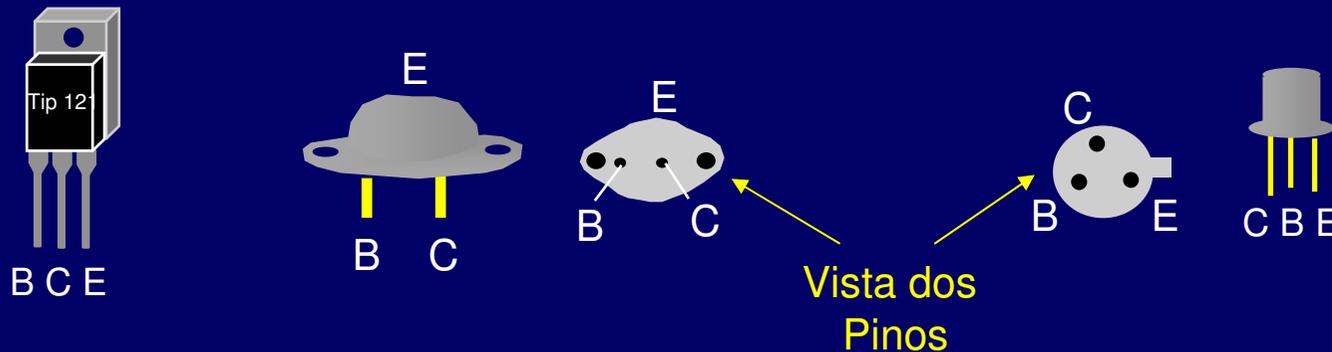


# Tipos de Transistores

## Bipolar

GIA

Transistores são construído sob várias formas e diferentes tipos de encapsulamentos



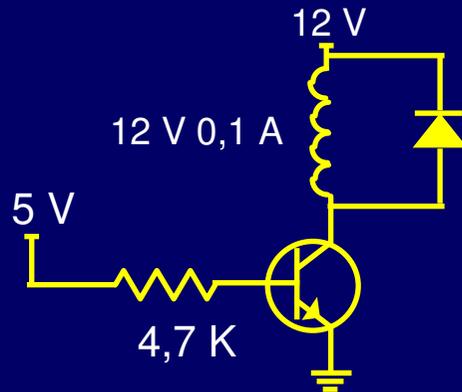
### Características de Transistores Empregados em Instrumentos

(máx)	$V_{CE}$ (V)	$I_c$ (A)	$\beta$	f (MHz)
Alto ganho	25 - 50	0,2 - 1	200-1000	150-400
Alta Corrente	30 - 75	0,6 - 5	50-500	60 - 450
Alta Voltagem	150 - 300	0,6 - 1	50-100	50-250
Alta velocidade	12	0,05 - 0,2	75 - 80	500-1500

# Aplicação de Transistores

GIA

## Chave



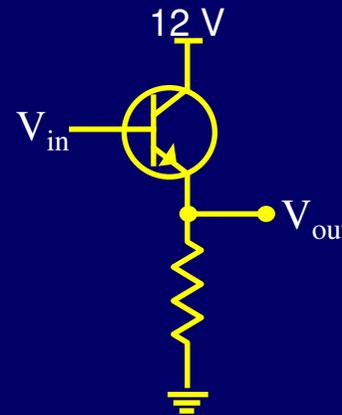
$$V_{BE} = 4,4 \text{ V (queda do diodo } \sim 0,6 \text{ V)}$$

$$I_B = \frac{V_{BE}}{R} = \frac{4,4}{4700} \sim 1 \text{ mA}$$

$$\beta = 100$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 1 = 100 \text{ mA}$$

## Seguidor do Emissor



$$\Delta V_E = \Delta V_B \quad \Delta I_E = \frac{\Delta V_B}{R}$$

$$I_E = I_C + I_B \quad (I_C = \beta I_B)$$

$$\Delta I_B = \frac{\Delta I_E}{(\beta + 1)} = \frac{\Delta V_B}{R(\beta + 1)}$$

$$\frac{\Delta V_B}{\Delta I_B} = R(\beta + 1)$$

$$R_{in} = R(\beta + 1)$$

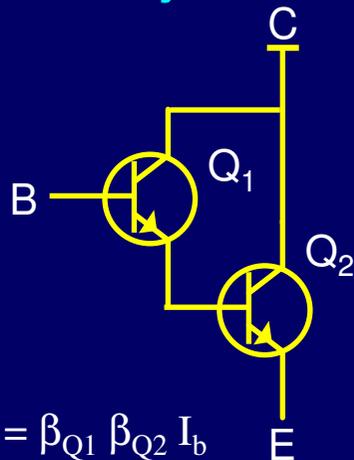
Não há ganho de voltagem  
Existe ganho de corrente

Impedância Entrada (base)  $\gg$  Impedância de Saída (Emissor)

# Aplicação de Transistores

GIA

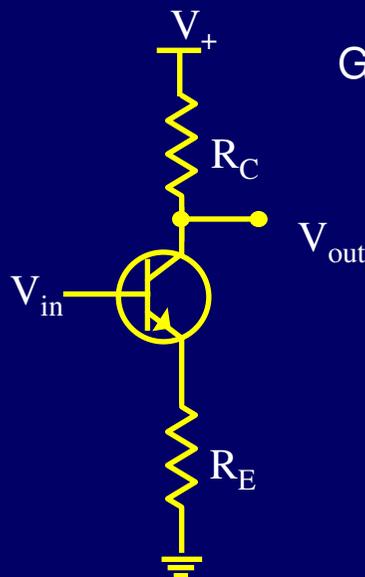
## Arranjo Darlington



Aumento da corrente de saída

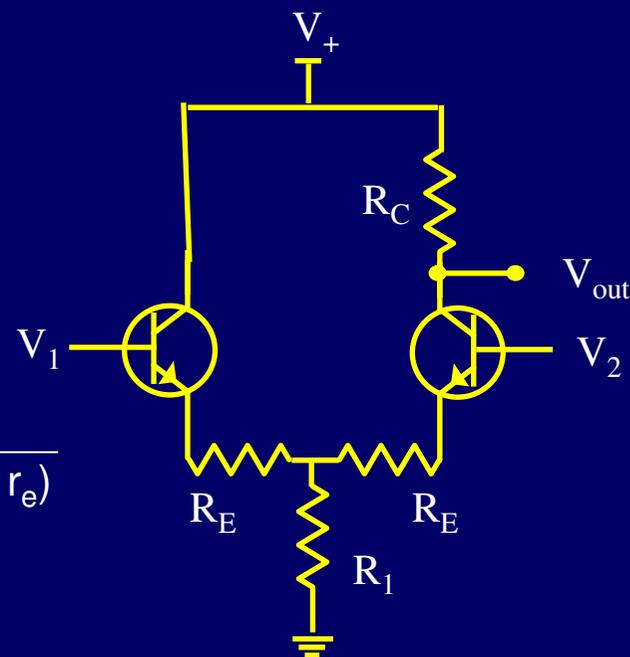
Aumento de impedância do sinal de entrada

## Amplificador



$$\text{Ganho} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_C}{R_E}$$

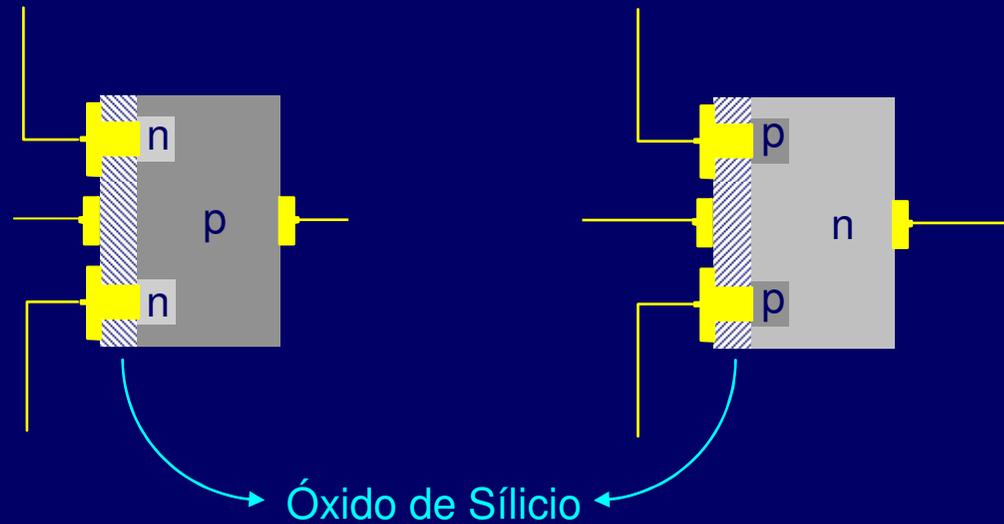
## Amplificador diferencial



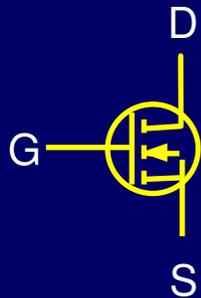
$$\text{Ganho} = \frac{V_{out}}{V_1 - V_2} = \frac{R_C}{2(R_E + r_e)}$$

$$\text{CMRR} = \frac{R_1}{R_E + r_e}$$

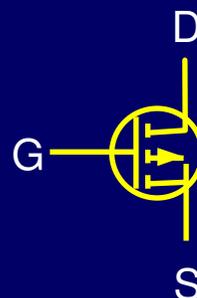
# Transistores de Efeito de Campo (FET)



## Símbolo



n-canal



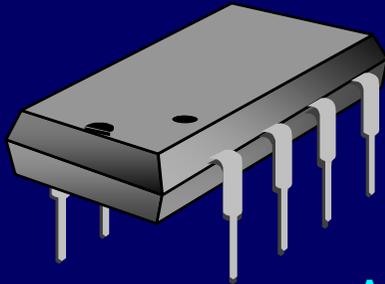
p-canal

## Impedância de Entrada

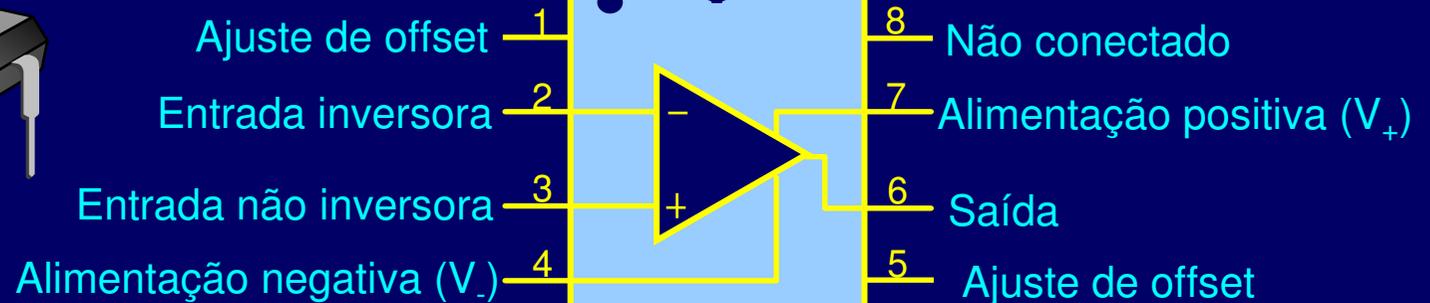
Bipolar  $10^4$  a  $10^6$  ohm

FET  $10^9$  a  $10^{14}$  ohm

# Amplificador Operacional



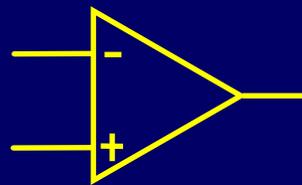
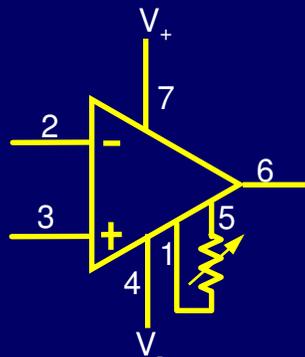
## Vista superior



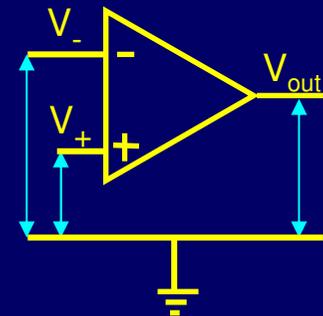
## Características

- 2 Entradas Inversora (-) e não inversora (+)
- 1 Saída (proporcional a diferença entre duas entradas)
- 1 Alimentação Positiva ( $V_+$ ) +5 a +15 V
- 1 Alimentação Negativa ( $V_-$ ) -5 a -15 V
- Normalmente apresenta um Ajuste de Offset

## Símbolo



## Potenciais



# Amplificador Operacional

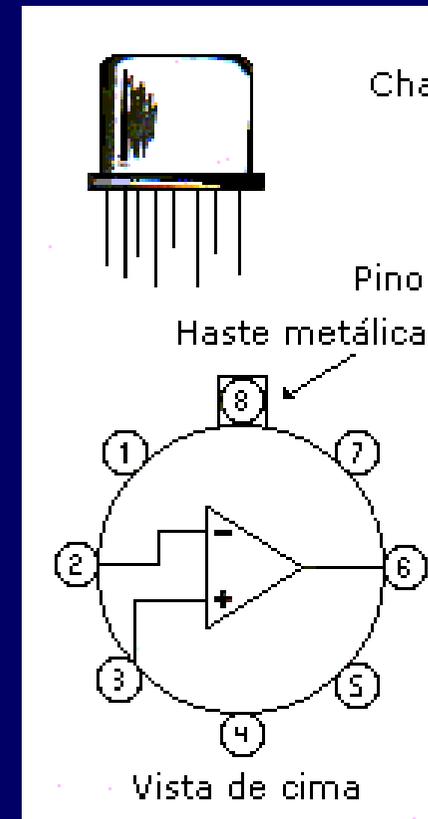
GIA



< 50 elementos



> 10<sup>6</sup> elementos



# Amplificador Operacional



## Amplificador Operacional Ideal

A  $V_{out}$  é proporcional a diferença de voltagem entre as duas entradas  $V_{out} = G (V_{+} - V_{-})$

O ganho na saída é infinito  $G = \infty$

A impedância de entrada é infinita  $R_{in} = \infty$

A impedância da saída é zero  $R_{out} = 0$

A largura de banda é infinita Responde para todas as frequências

## Amplificador Operacional Real

O ganho na saída, sem realimentação (open loop), é tipicamente entre  $10^4$  e  $10^7$

$V_{out}$  não pode ser maior que a tensão de alimentação ( $V_{out} = V_{alim}$ , condição de saturação)

Impedância de entrada  $10^6$  ohm (transistor bipolar) e de  $10^{12}$  ohm (transistor tipo FET)

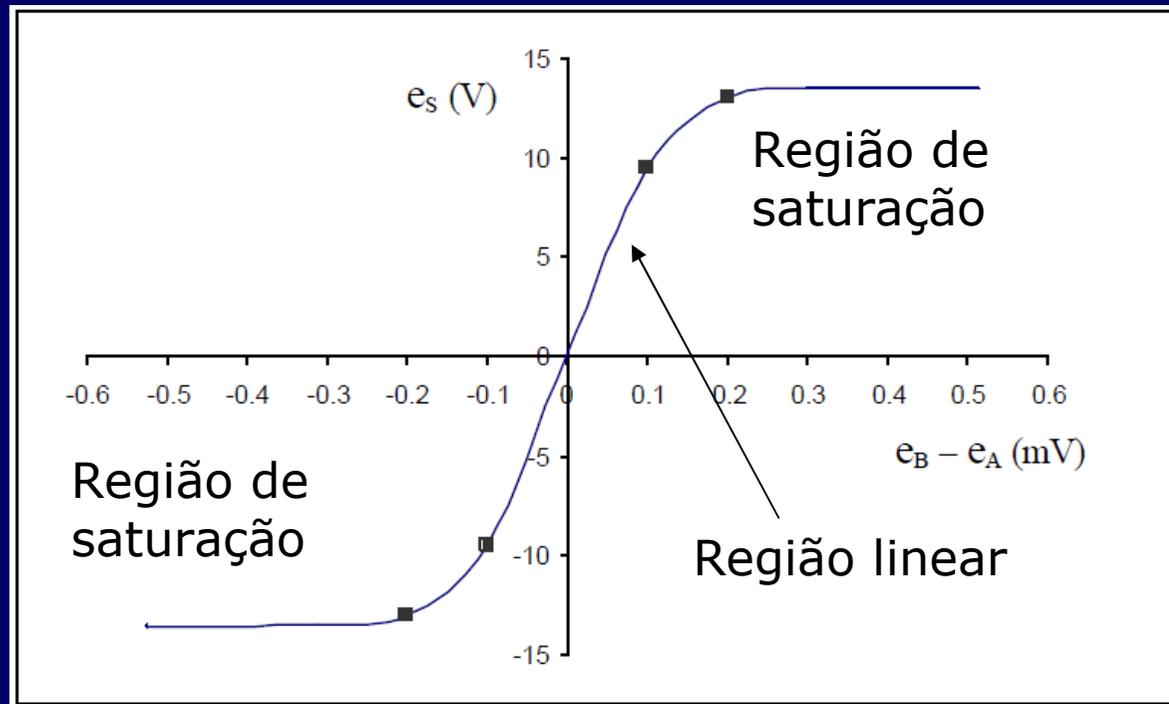
Impedância de saída  $> 10$  ohm para sinal dc (existem OP impedância  $< 1$  ohm)

A largura de banda é tipicamente entre um sinal dc e 100 KHz ( alguns operacional operam a 100 MHz)

# Amplificador Operacional

GIA

Tensão de saída em função da diferença de tensão das entradas



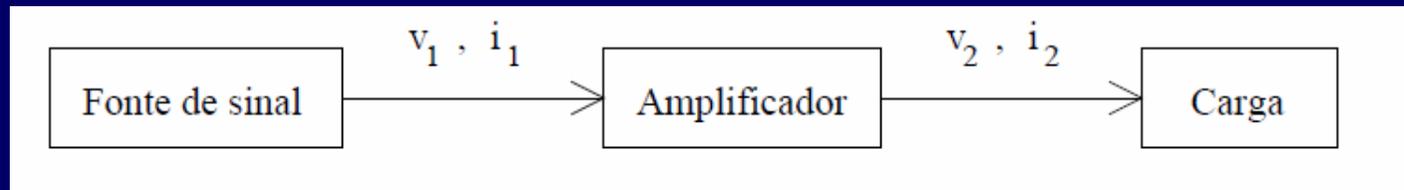
Tensão de Saturação é aproximadamente 2 V menor em módulo que a tensão de alimentação

# Amplificador Operacional



Conservação de energia

Bloco de amplificação passivo



$$P_1 = V_1 i_1$$

$$P_2 = V_2 i_2$$

**Potencia de entrada é igual potencia de saída**

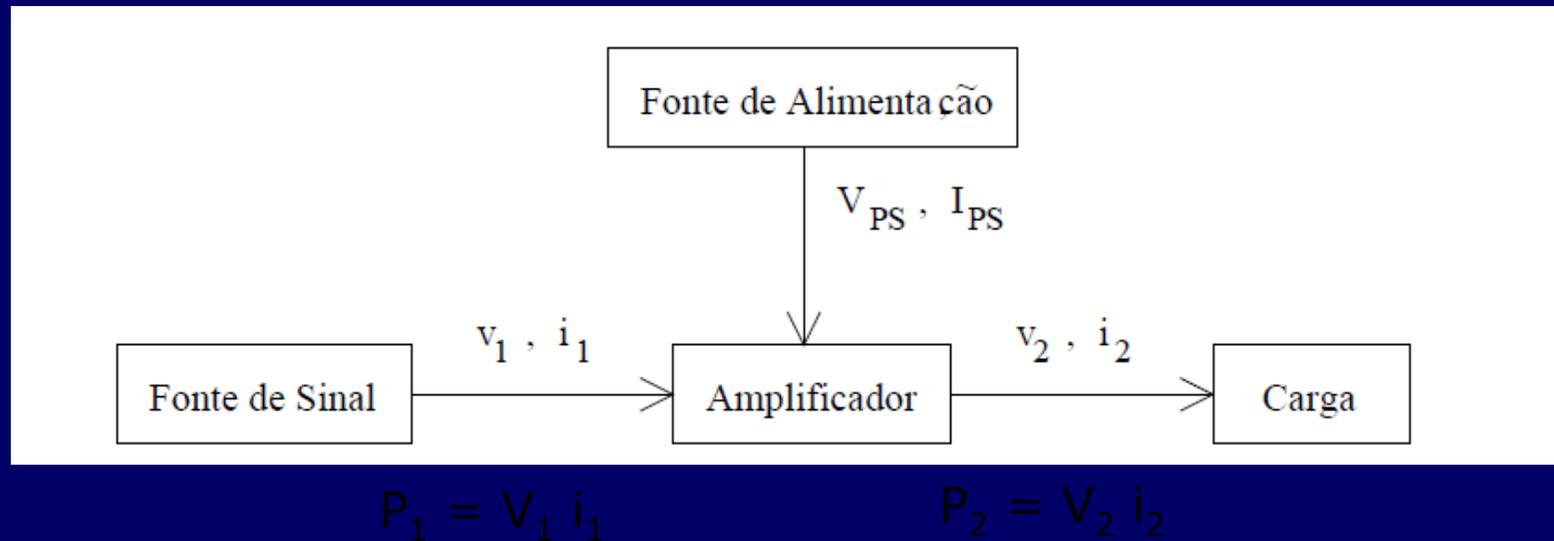
Se houver amplificação de tensão  
haverá uma atenuação de corrente  
e vice e versa

# Amplificador Operacional

GIA

Conservação de energia

Bloco de amplificação ativo



**Potencia de saída é maior que a potencia de entrada**

**Pode haver amplificação simultânea de  
tensão e corrente**

# Circuito do Amplificador Operacional 741



Inversora -

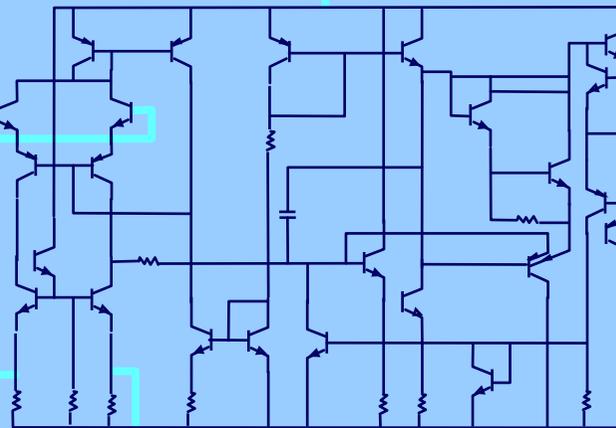
Não Inversora +

Tensão de Alimentação Positiva ( $V_+$ )

Tensão de Alimentação Negativa ( $V_-$ )

Ajuste de offset

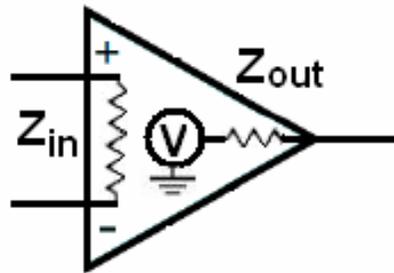
Saída



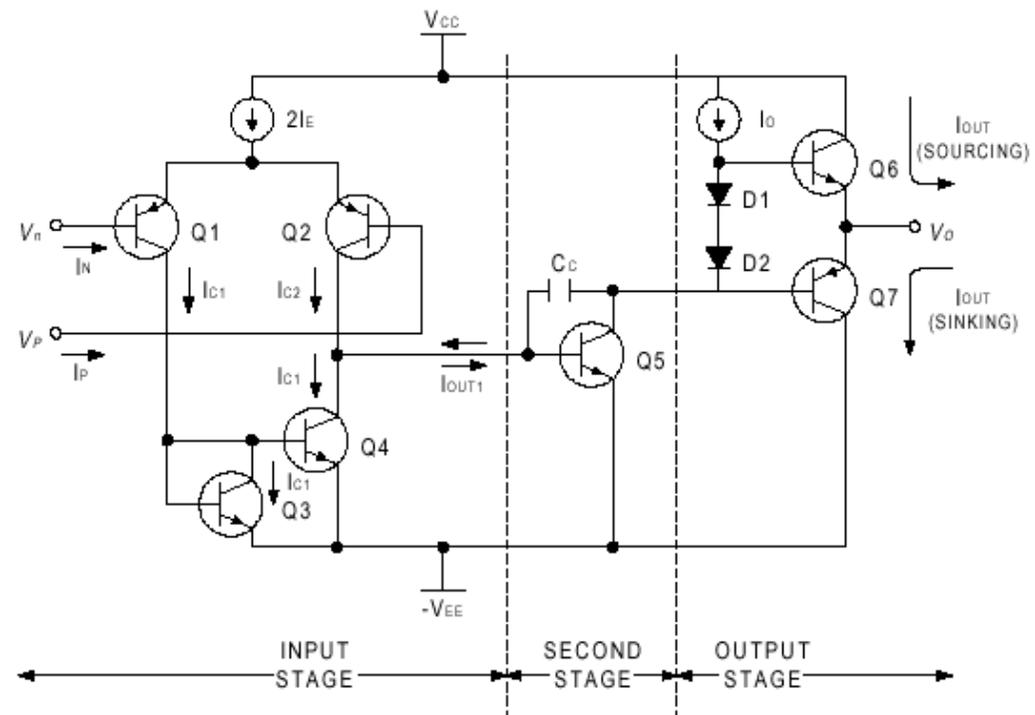
# Amplificador Operacional

GIA

## Representações das impedâncias



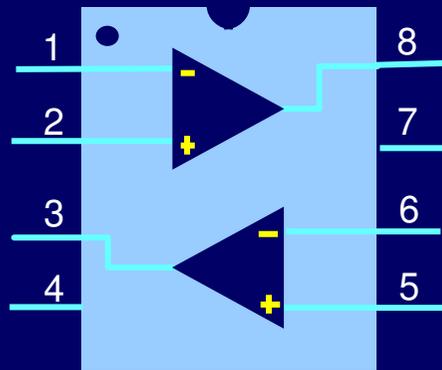
$Z_{in}$  – Impedância de entrada:  $10^6$  a  $10^{12}$   
 $Z_{out}$  – Impedância de saída: 10 a 1000



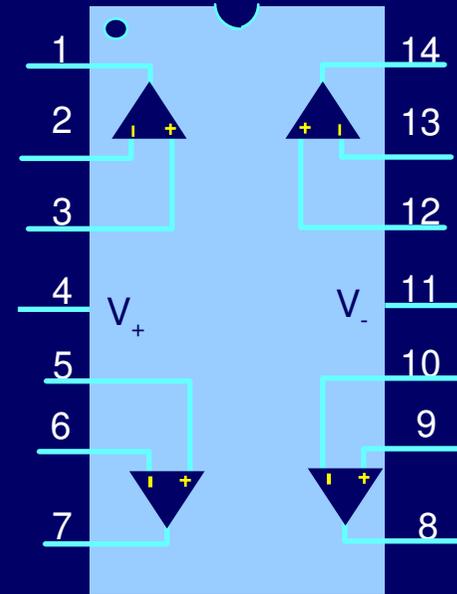
# Amplificador Operacional



## Dois Amplificadores por pacotes



## Quatro Amplificadores por pacotes

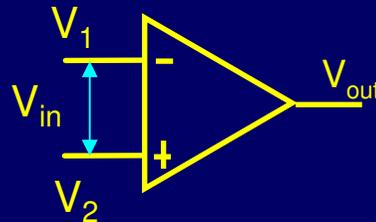


# Realimentação

GIA

Na prática amplificadores operacionais são empregados utilizando alguma configuração que permita uma realimentação da saída para uma das duas entradas.

**Amplificador sem realimentação (open loop)**

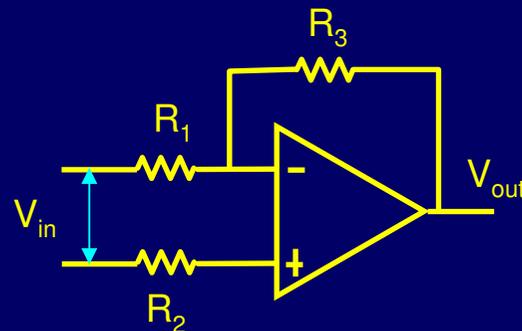


$$V_{in} = V_2 - V_1$$

$$V_{out} = G_{ol} V_{in}$$

$G_{ol}$  = ganho sem realimentação ( $10^6$ )

**Amplificador com realimentação (feedback)**



$$V_{out} = \frac{R_3}{R_1} V_{in}$$

$$G = \frac{R_3}{R_1}$$

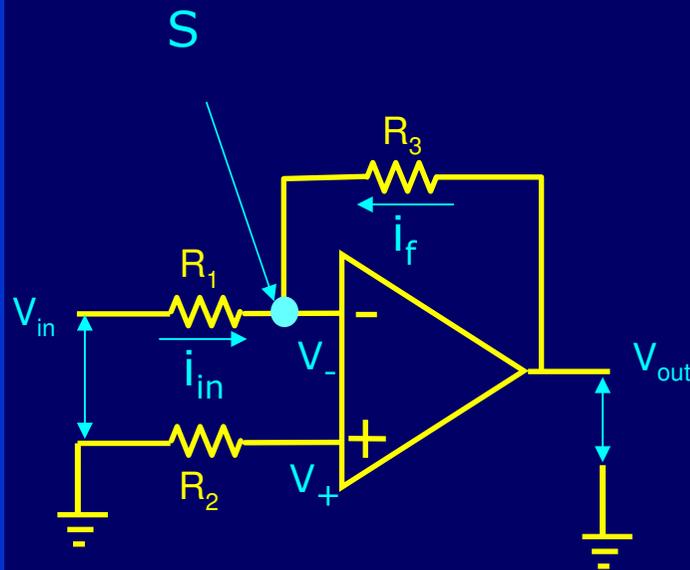
G é tipicamente entre 1 a 1000

**O sinal de saída de um amplificador operacional com realimentação é mais estável e controlado**

# Realimentação



O amplificador operacional é construído de forma a igualar o potencial das duas entradas. A energia consumida para realizar este trabalho resulta na tensão de saída multiplicado pelo ganho



$$V_{out} = -GV_{in} = -G(V_- - V_+)$$

$$V_- = V_+ - (V_{out} / G)$$

Como G é grande ( $10^6$ ) temos:  $V_- = V_+$

**Lei de Ohm**  $i_{in} = (V_{in} - V_-) / R_1$

$$i_f = (V_- - V_{out}) / R_f$$

**Lei Kirchhoff**  $i_{in} = i_f$

$$(V_{in} - V_-) / R_1 = (V_- - V_{out}) / R_f$$

$$\frac{V_{in} - (V_+ - (V_{out} / G))}{R_1} = \frac{(V_+ - (V_{out} / G)) - V_{out}}{R_f}$$

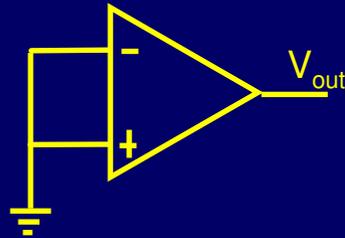
Como: G é muito grande e  $V_+ = 0$

$$V_{in} / R_1 = V_{out} / R_f \Rightarrow V_{out} / V_{in} = R_f / R_1 \Rightarrow V_{out} = (R_f / R_1) \times V_{in}$$

# Imperfeições dos Amplificadores Operacionais

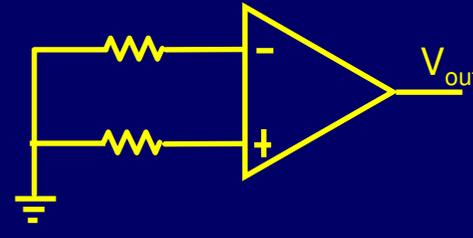


## Voltagem de offset



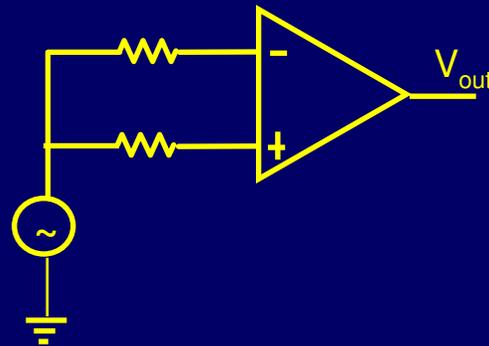
Tipicamente 0,1 a 10 mV

## Corrente de offset



Tipicamente 20 a 3 pA

## Razão de Rejeição de Modo Comum (CMRR)



Tipicamente 60 a 100 dB

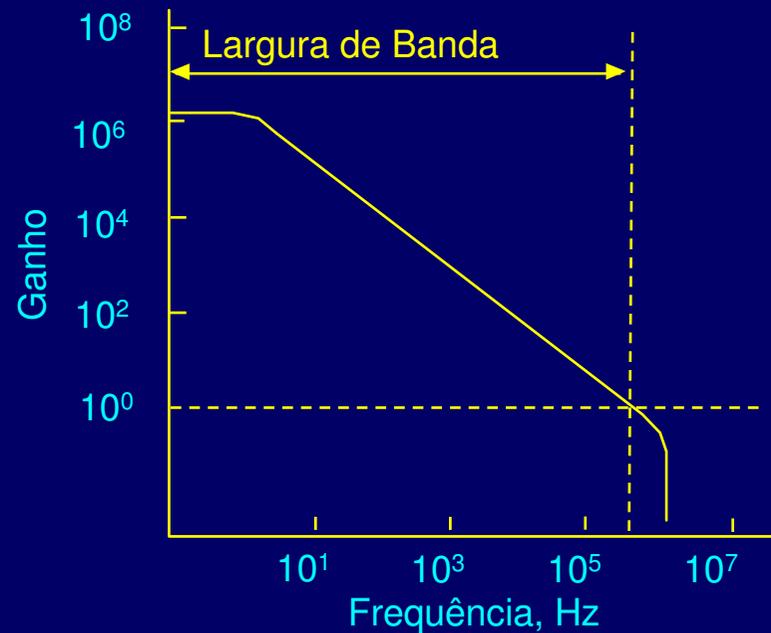
Na maioria dos casos este valor é encontrado com um sinal de entrada de 1MHz

**Em todos os casos os sinais de saída são causados por diferenças entre as duas entradas (diferenças de fabricação)**

# Largura de Banda



## Largura de Banda open loop (sem realimentação)



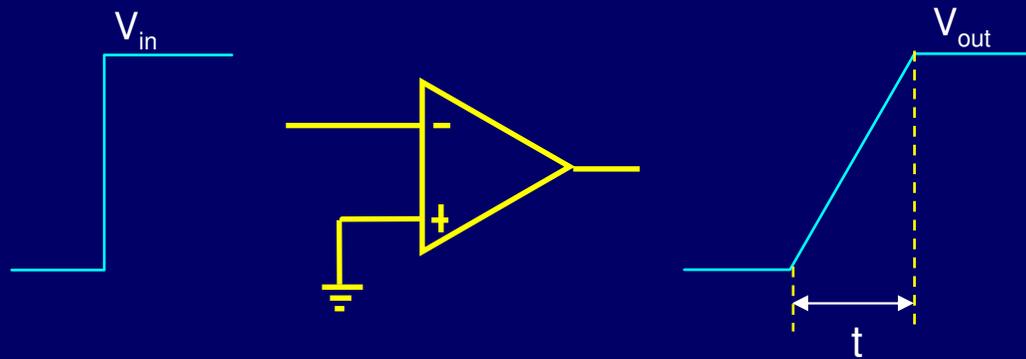
O ganho para um circuito amplificador com realimentação, à uma determinada frequência não pode ser maior que o ganho para uma OA sem realimentação

# Taxa de Resposta



## Slew Rate (Taxa de resposta)

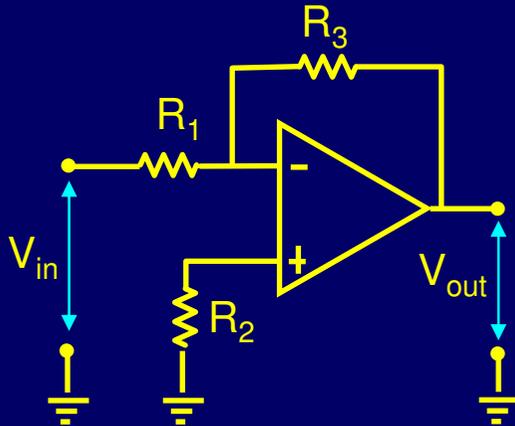
Taxa máxima que a voltagem de saída de um OA pode mudar ( $V/\mu s$ )



# Aplicação de Amplificadores Operacionais

GIA

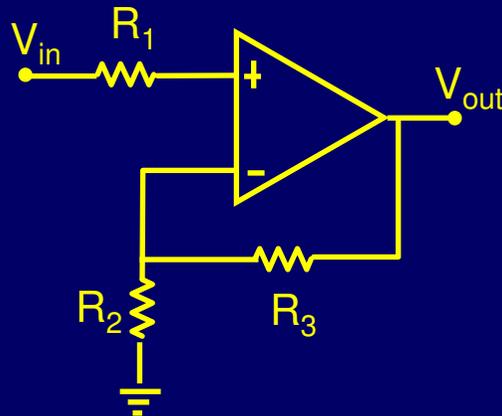
## Amplificador Inversor



$$V_{out} = -\frac{R_3}{R_1} V_{in} \quad G = -\frac{R_3}{R_1}$$

Impedância de Entrada é igual ao valor do resistor ligado a entrada Inversora ( $R_1$ )

## Amplificador Não Inversor



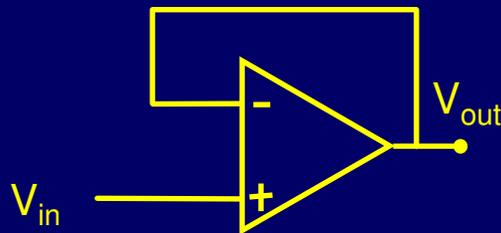
$$V_{out} = \frac{R_2 + R_3}{R_2} V_{in} \quad G = \frac{R_2 + R_3}{R_2}$$

Impedância de entrada é igual a impedância da entrada Não-Inversora do OA

# Aplicação de Amplificadores Operacionais

GIA

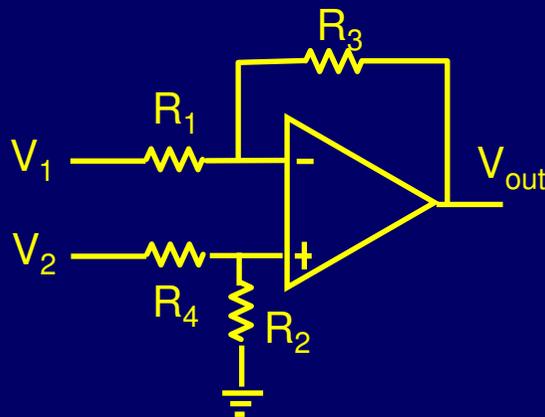
## Buffer (Seguidor de Voltagem)



Ganho = 1

Sinal de entrada com alta impedância  
Sinal de saída com baixa impedância

## Amplificador Diferencial

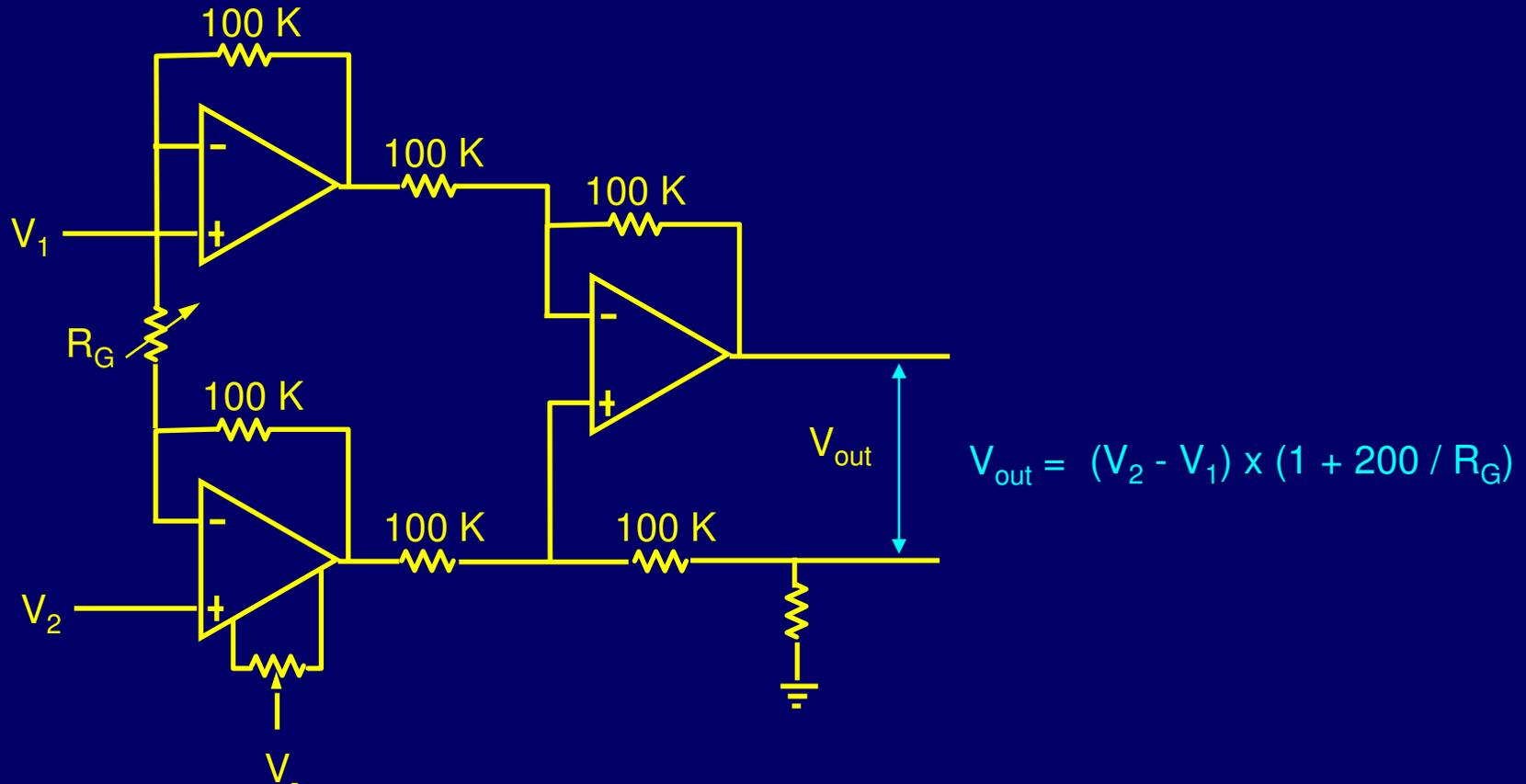


$$V_{out} = (V_2 - V_1) \frac{R_3}{R_1}$$

# Aplicação de Amplificadores Operacionais

GIA

## Amplificador de Instrumentação



Quando comparado ao amplificador diferencial

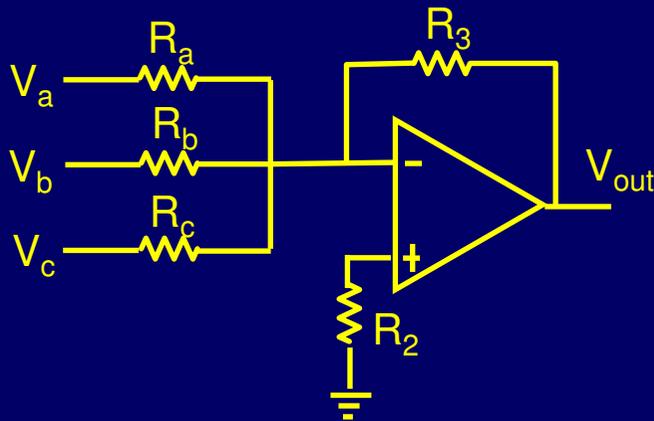
Maior Ganho  
Menor Ruído  
Maior Estabilidade

Alta Impedância de Entrada  
Melhor CMRR  
Menor Offset de Temperatura

# Aplicação de Amplificadores Operacionais

GIA

## Amplificador Somador

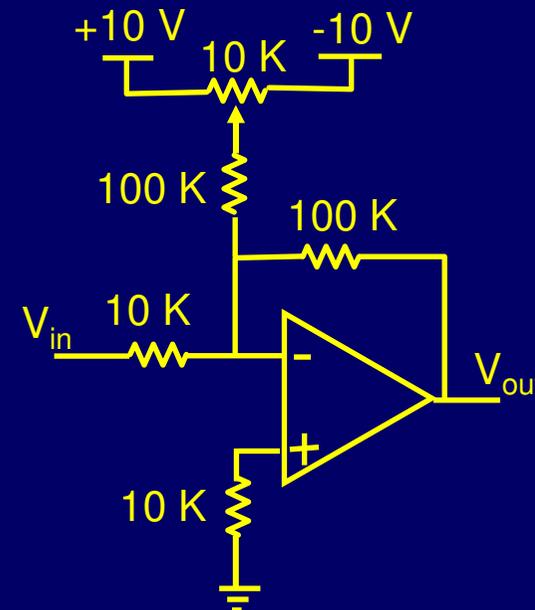


$$V_{out} = - \left( V_a \frac{R_3}{R_a} + V_b \frac{R_3}{R_b} + V_c \frac{R_3}{R_c} \right)$$

$$\text{Se: } R_a = R_b = R_c = R_1$$

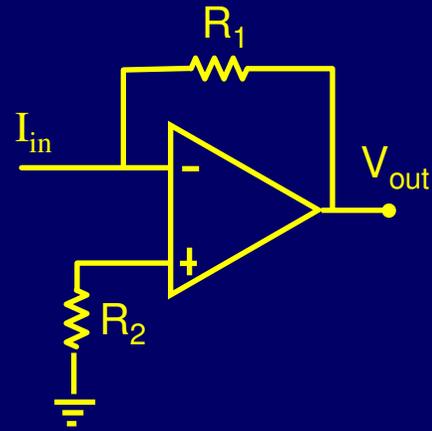
$$V_{out} = - (V_a + V_b + V_c) \frac{R_3}{R_{eq}}$$

Gerar um sinal fixo na saída (offset)  
10 vezes maior que o sinal ajustado  
no trimpot



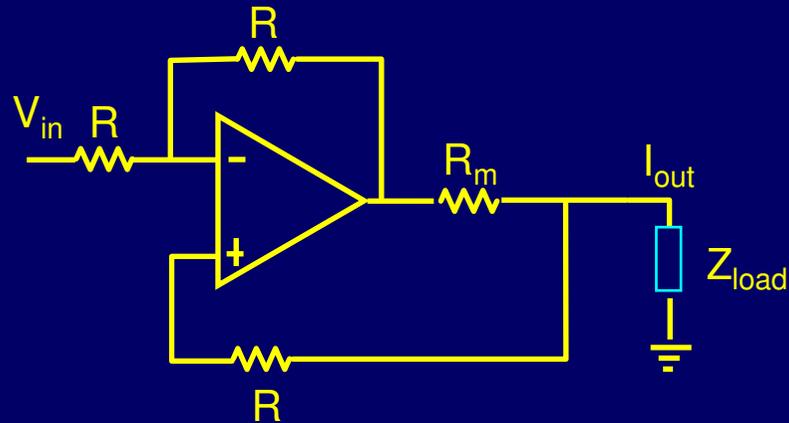


## Conversor Corrente-Voltagem



$$V_{out} = R_1 I_{in}$$

## Conversor Voltagem-Corrente

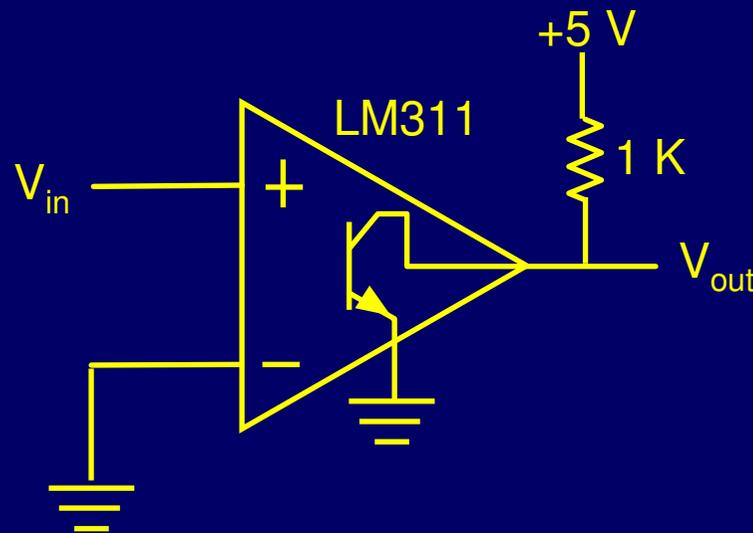


$$I_{out} = \frac{V_{in}}{R_m}$$

# Comparador



## Comparador de coletor aberto



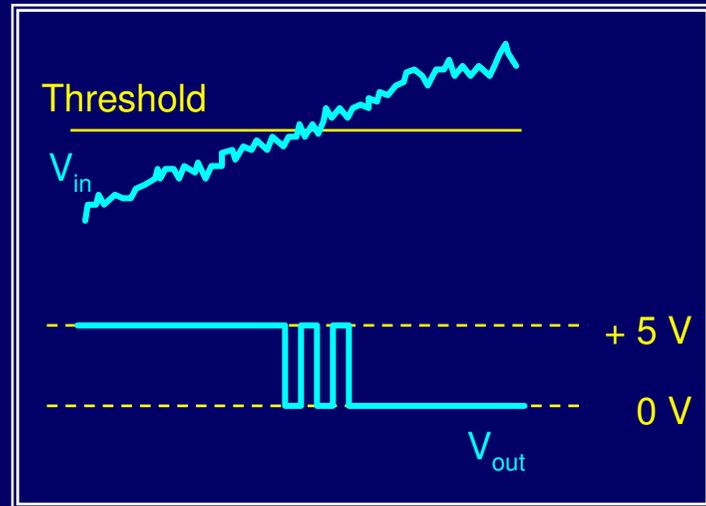
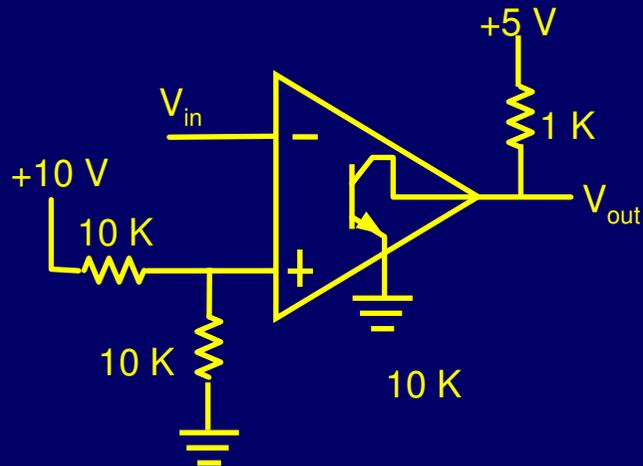
LM 311  
Transistor tipo npn

Nos comparadores a saída é normalmente chaveada por um transistor

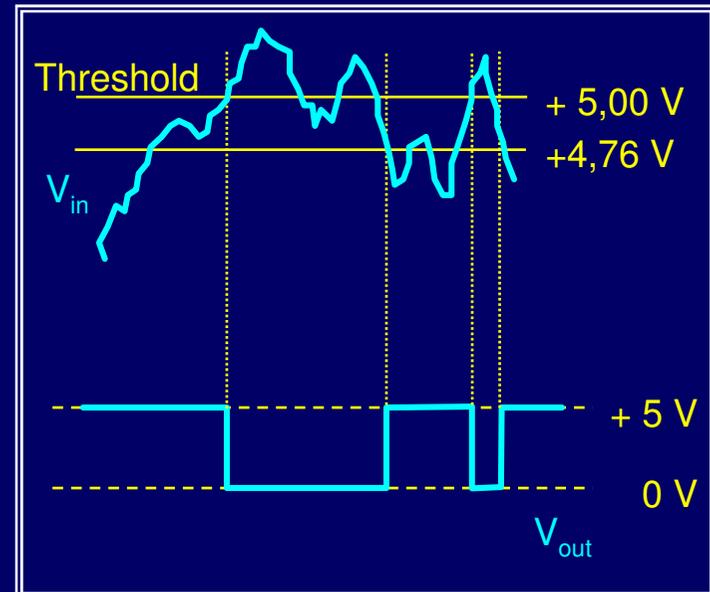
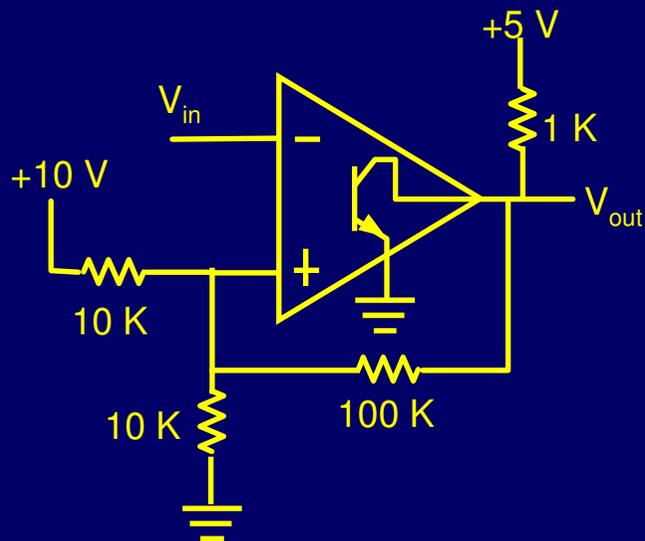
# Comparador Schmitt Trigger

GIA

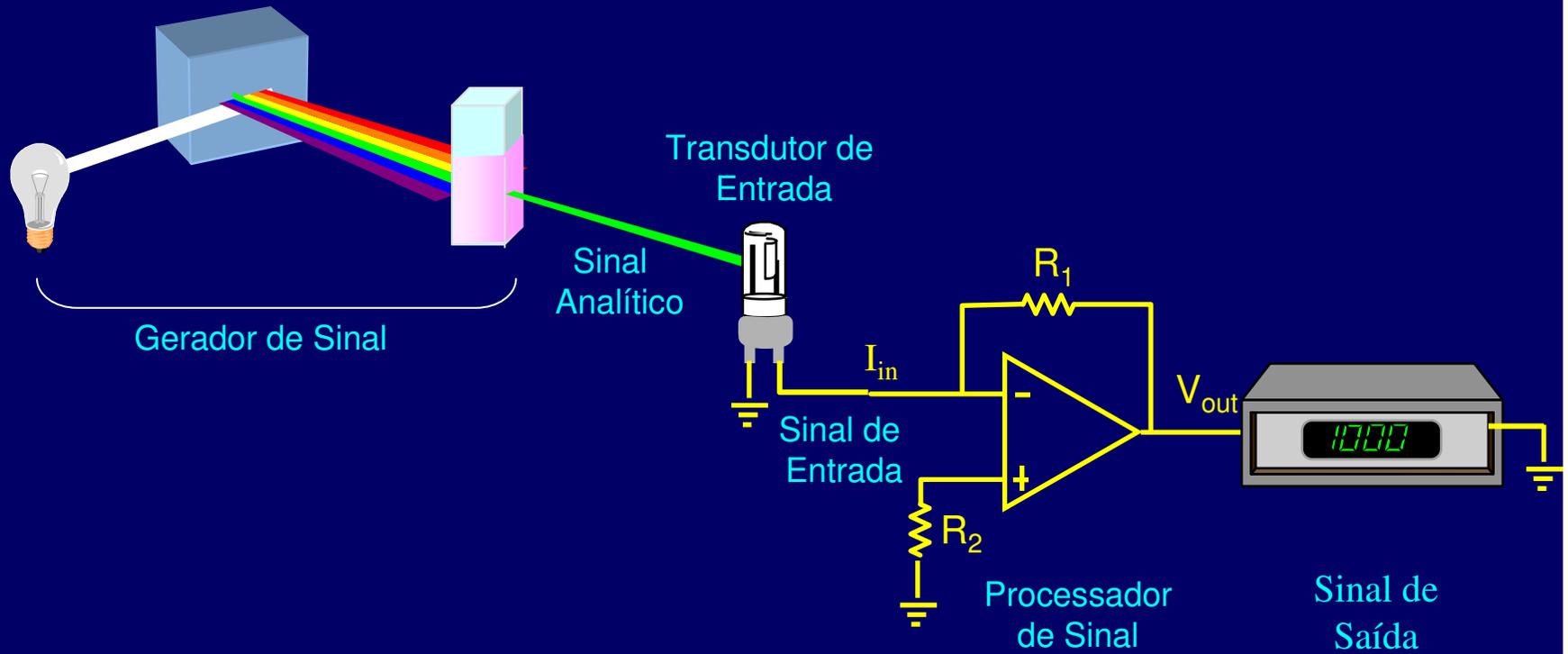
## Comparador sem Realimentação



## Comparador com Realimentação (Schmitt trigger)



# Espectrofotômetro



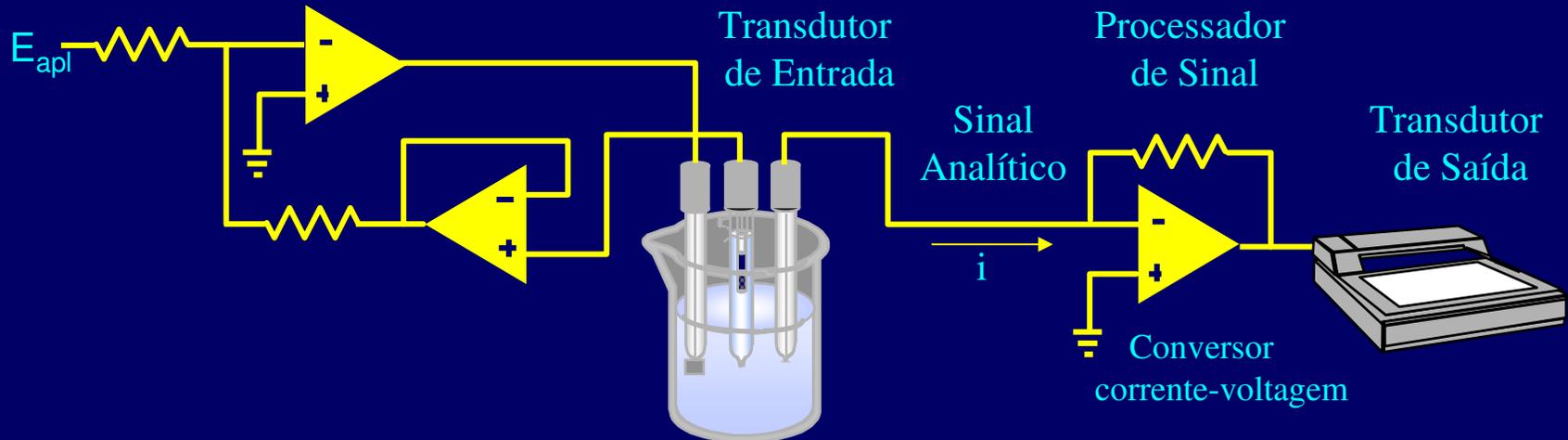
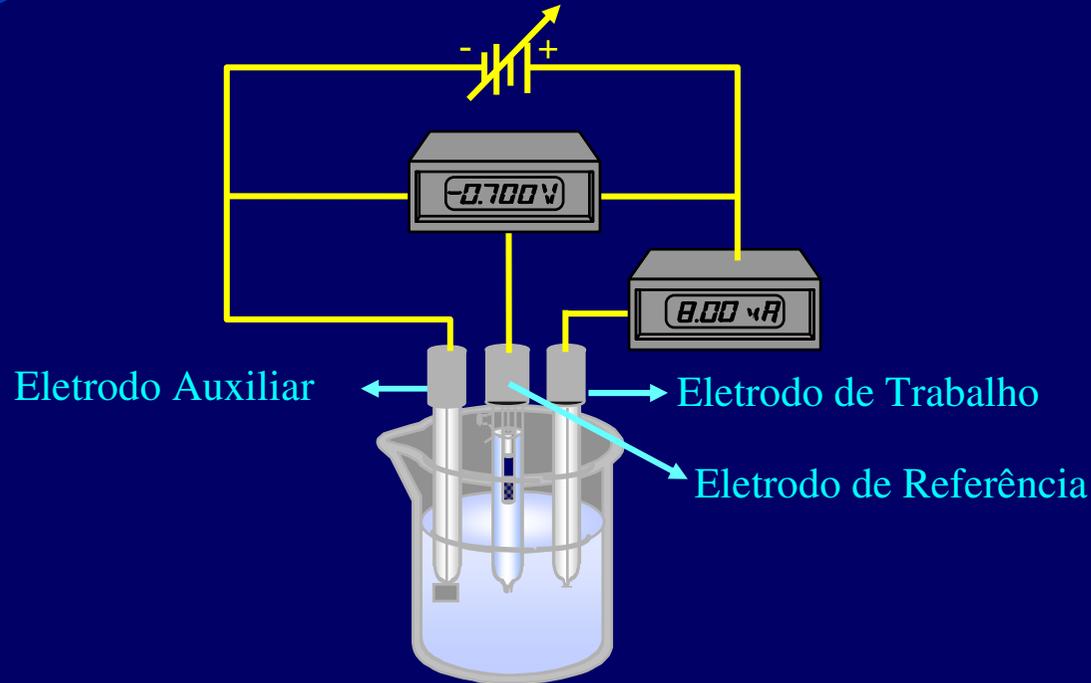
Estímulo Radiação  
Eletromagnética

Atenuação  
Radiação

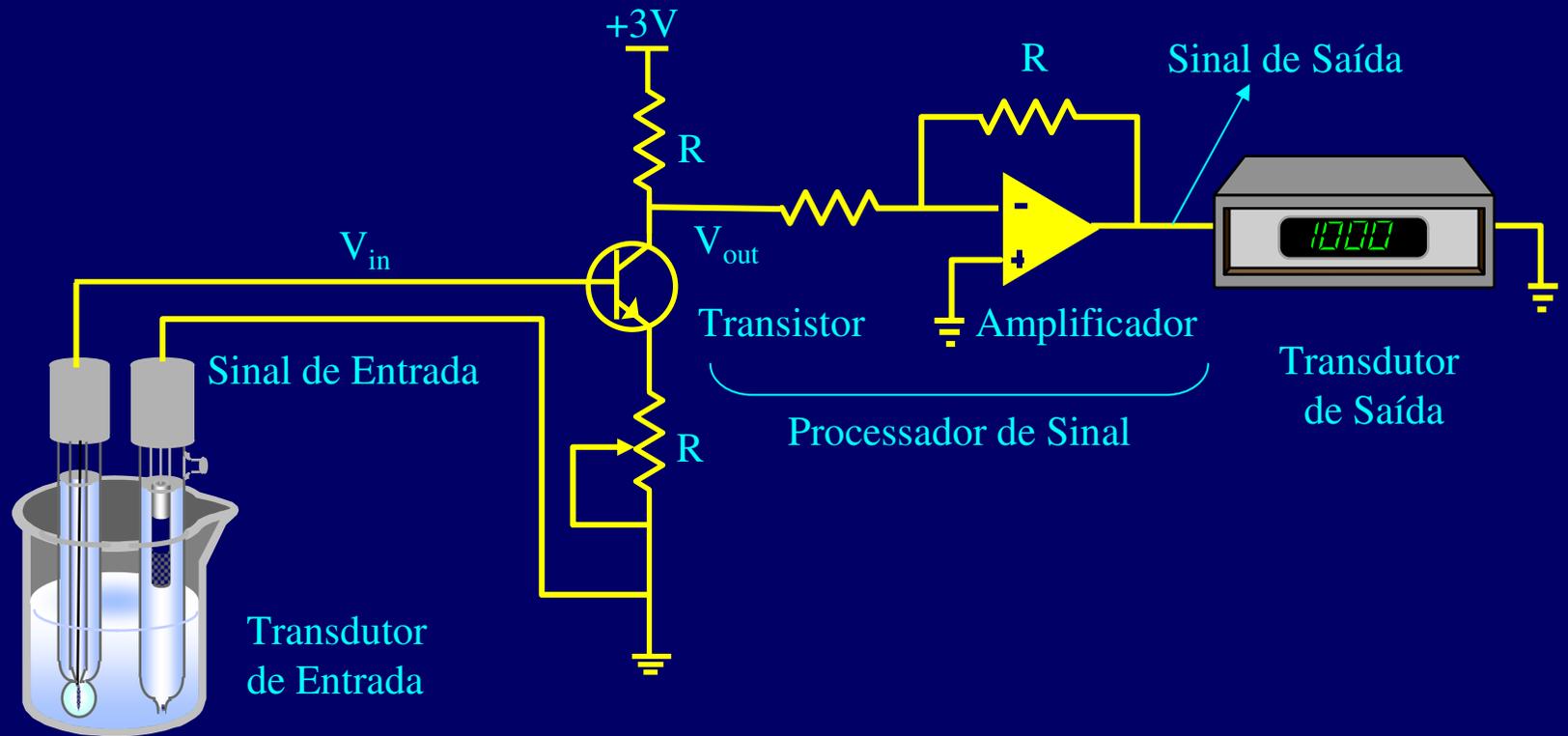
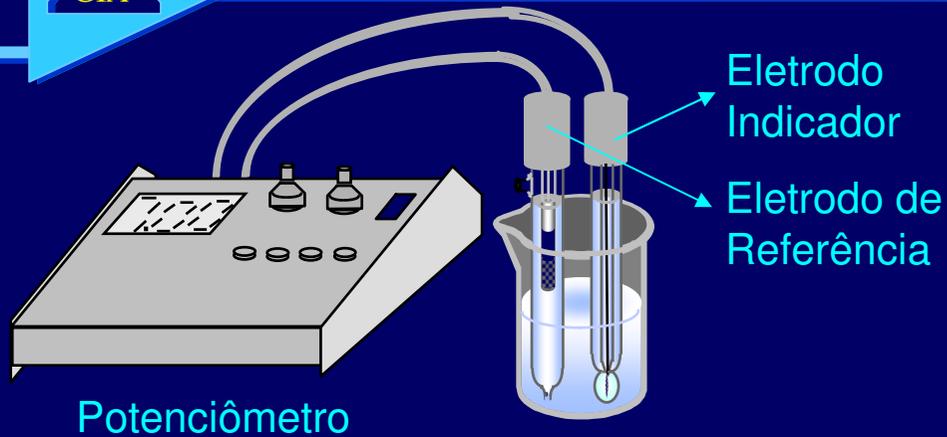
Conversão Radiação  
em Corrente Elétrica

$$E = R_1 I$$

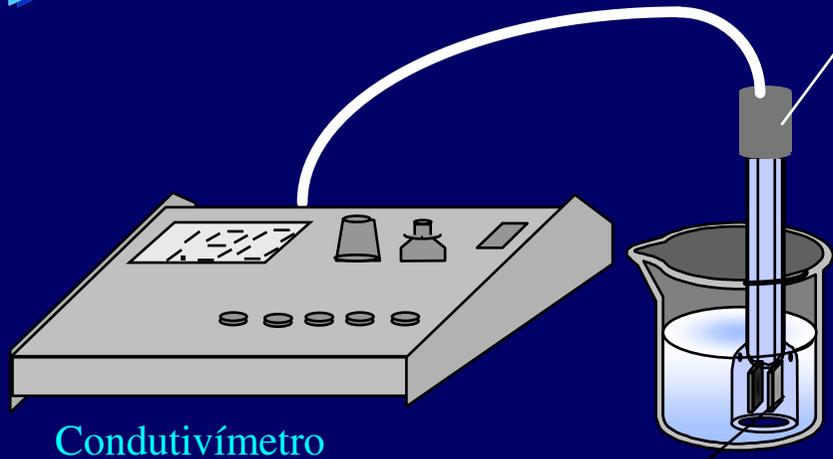
# Voltametria



# Potenciometria



# Condutometria



Condutivímetro

Eletrodo

Placas de platina  
Platinizada

