# Amplificador Operacional 2

Adrielle C. Santana

# Regras de Ouro

- *As entradas de um AmpOp não "puxam" corrente (impedância de entrada infinita).*

- *O valor de tensão na saída (fornecido pelo AmpOp), será* ***o necessário*** *para que as a diferença de voltagem entre as entradas seja igual a zero.*

# Regras de Ouro

A validade destas regras é completa, desde que sejam considerados alguns detalhes:

- *O **ganho** do AmpOp é (considerado como)**infinito**.*
- *A tensão na saída do AmpOp deve ser menor que a tensão de saturação.*

  - *Os transistores internos ao AmpOp devem estar polarizados.*
  - *A tensão de saturação é em torno de um a dois volts abaixo da tensão de alimentação.*
  - *A tensão de saída não pode ser maior que a tensão de alimentação do circuito.*

# Regras de Ouro

- *Deve existir **realimentação negativa** no circuito (é a realimentação que diminui o ganho).*

- *A realimentação do AmpOp deve apresentar um "caminho DC" (contato para passagem de um sinal de corrente contínua)*

# Impedâncias e outras Características em Amplificadores de Áudio

Para entender melhor o papel das impedâncias em amplificadores vamos analisar sua influência em amplificadores de áudio:

- A **impedância de entrada** representa o quanto um aparelho ‘sobrecarrega’ uma dada fonte de sinal. Uma impedância de entrada alta drena uma corrente muito baixa da fonte representando uma pequena sobrecarga.

# Impedâncias e outras Características em Amplificadores de Áudio

Por exemplo, a impedância de entrada de um osciloscópio (ou de um voltímetro) é sempre muito alta (~1 MΩ) de modo a não perturbar os sinais inspecionados.

- Uma **impedância de saída** pode ser vista como uma como uma resistência interna em série com uma fonte de tensão. Para a maioria das aplicações, queremos esta impedância a mais baixa possível para minimizar a perda do sinal quando a saída é carregada com um componente posterior.

# Impedâncias e outras Características em Amplificadores de Áudio

A tensão VL que uma carga ZL conectada a uma fonte vê é dada pela regra do divisor de tensão:

$$V_L = \frac{V_s Z_L}{Z_o + Z_L}$$

Onde $V_s$ é a tensão da fonte, $V_L$ a tensão na carga, $Z_L$ a impedância da carga e $Z_o$ a impedância da saída da fonte (amplificador).

Quanto menor for $Z_o$ mais prox. será $V_L = V_s$

# Impedâncias e outras Características em Amplificadores de Áudio

Do ponto de vista de um amplificador de áudio sua impedância de entrada deve ser muito maior que a impedância de saída da fonte do sinal a ser amplificado de modo que a corrente puxada não sobrecarregue a fonte do sinal (alta corrente no fio). Sua impedância de saída deve ser a menor possível de modo que o amplificador não cause atenuação do sinal de saída amplificado.

Baixa $Z_o$ => altas correntes na saída.

# Impedâncias e outras Características em Amplificadores de Áudio

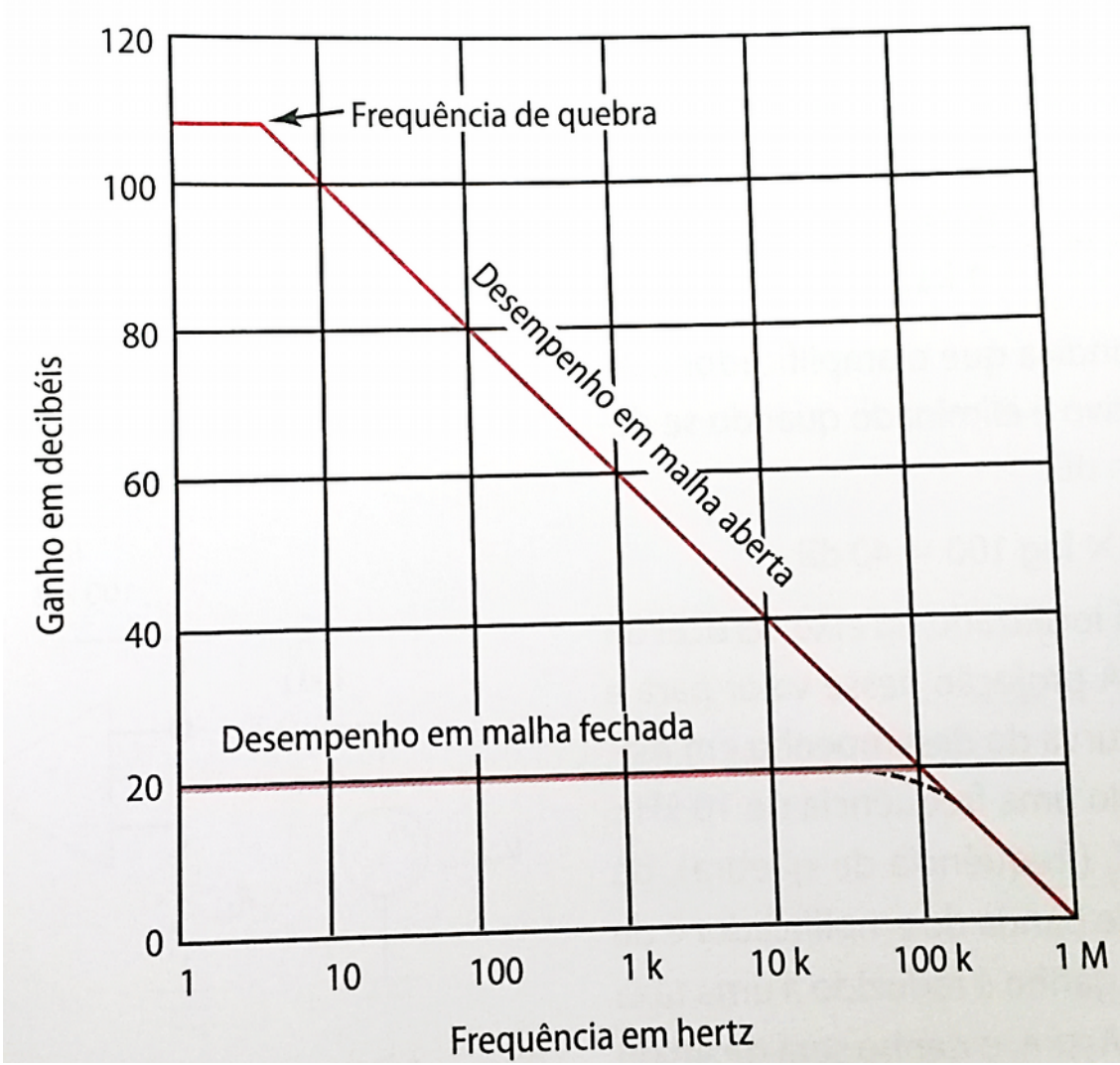
**AMPLIFICADOR CROWN 12000 WRMS 2 OHMS BIVOLT**

- Potência total 12000Watts RMS@2ohms
- Resposta de Freqüência (no 1 watt, 20Hz - 20 kHz em 8 ohms): ± 0,25 dB
- Relação sinal-ruído abaixo potência nominal total largura de banda, A-ponderada: > 108 dB
- Distorção Harmônica Total (THD) em 1 watt em 8 ohms: <0,1%
- Distorção Harmônica Total (THD), mais ruído a potência nominal total: <0,35%, 20 Hz a 20 kHz
- Distorção por Intermodulação (IMD) de 60 Hz e 7 kHz em 4:1, de saída total de -30 dB: <0,35%
- Fator Damping (20 Hz a 100 Hz em 8 ohms):> 5000
- Crosstalk (potência nominal abaixo de 20 Hz a 1 kHz):> 80 dB
- Rejeição de Modo Comum (CMR) (20 Hz a 1 kHz):> 55 dB, tipicamente> 70 dB
- Saída DC Offset (entrada em curto): <± 3 mV
- Impedância de entrada (nominal): 10 kilohms balanceada, 5 kilohms desequilibrados
- Nível de Entrada Máximo: +20 dBu típico
- Impedância de Carga (Nota: segurança com todos os tipos de cargas): Stereo: 1/2/4/8/16 ohms Ponte Mono: 2/4/8 ohms
- Sensibilidade de Entrada (referenciado a 8 ohm de saída nominal): 1.4V, ganho dB 32, e 26 dB
- Ganho de Tensão (referenciado a 8 ohm de saída nominal): 39,3 dB para 24,5 dB
- Necessário Alimentação AC: AC de entrada Universal, 100-240V, 50/60 Hz (± 10%). Máxima AC 264VAC tensão da rede.
- AC Line Connector: Cinco conjunto de cabos fornecidos com amplificador (EUA, Reino Unido, Europa, Austrália, Índia)

# Impedâncias e outras Características em Amplificadores de Áudio

## Resposta em Frequência

Máxima variação observada no ganho do amplificador na faixa de frequência indicada. (audível)



# Impedâncias e outras Características em Amplificadores de Áudio

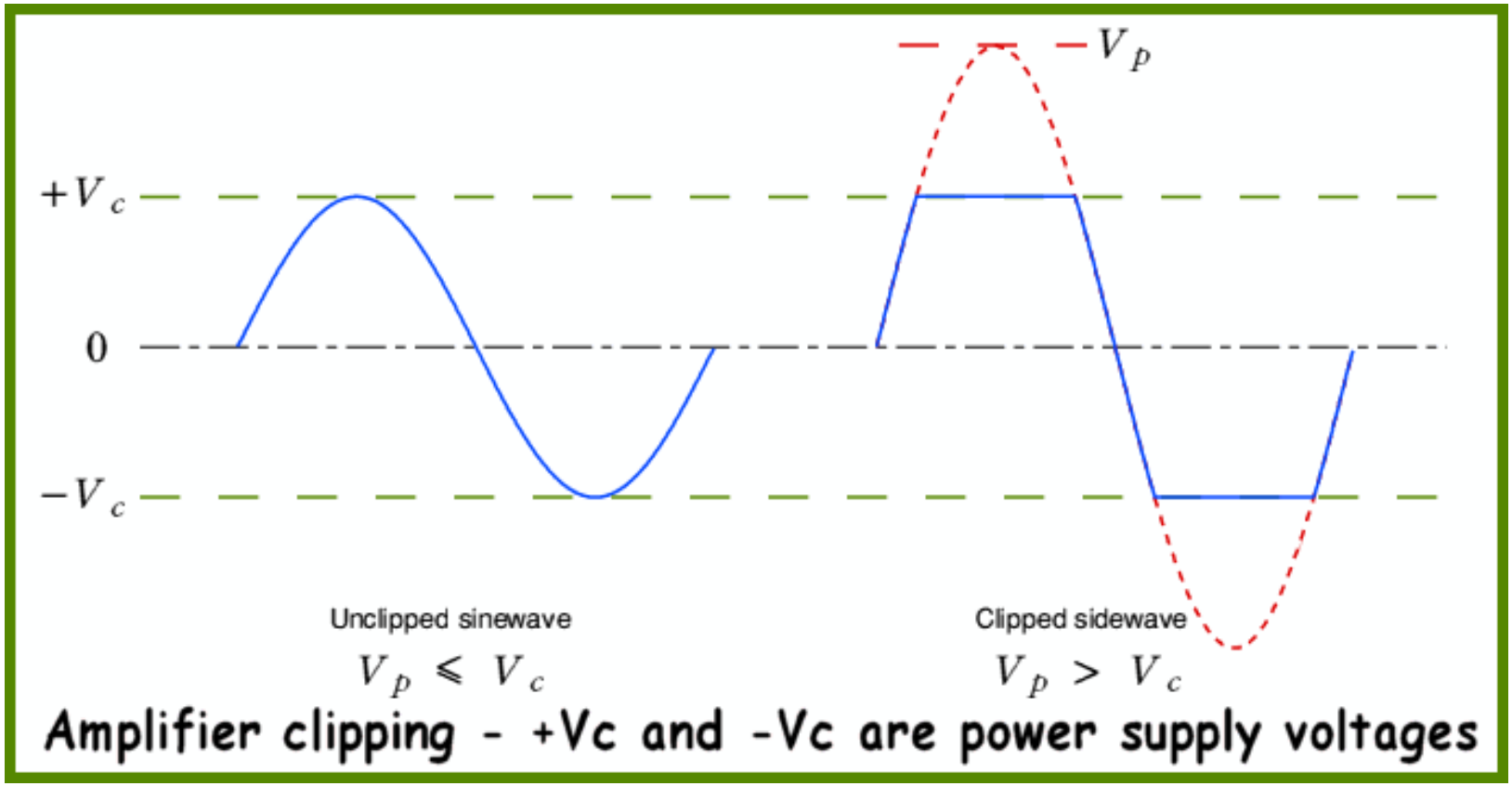
A sensibilidade de entrada diz respeito ao valor da tensão de entrada que resultará na máxima potência de saída do amplificador.

Ex.: 1,4 proporciona ganho de 32 dB

Acima desse valor de entrada já se observará distorção no som da saída devido à saturação do amplificador.

# Impedâncias e outras Características em Amplificadores de Áudio

- O pessoal da área chama esse acontecimento de CLIPPING (o equipamento está sendo exigido além do que foi projetado).



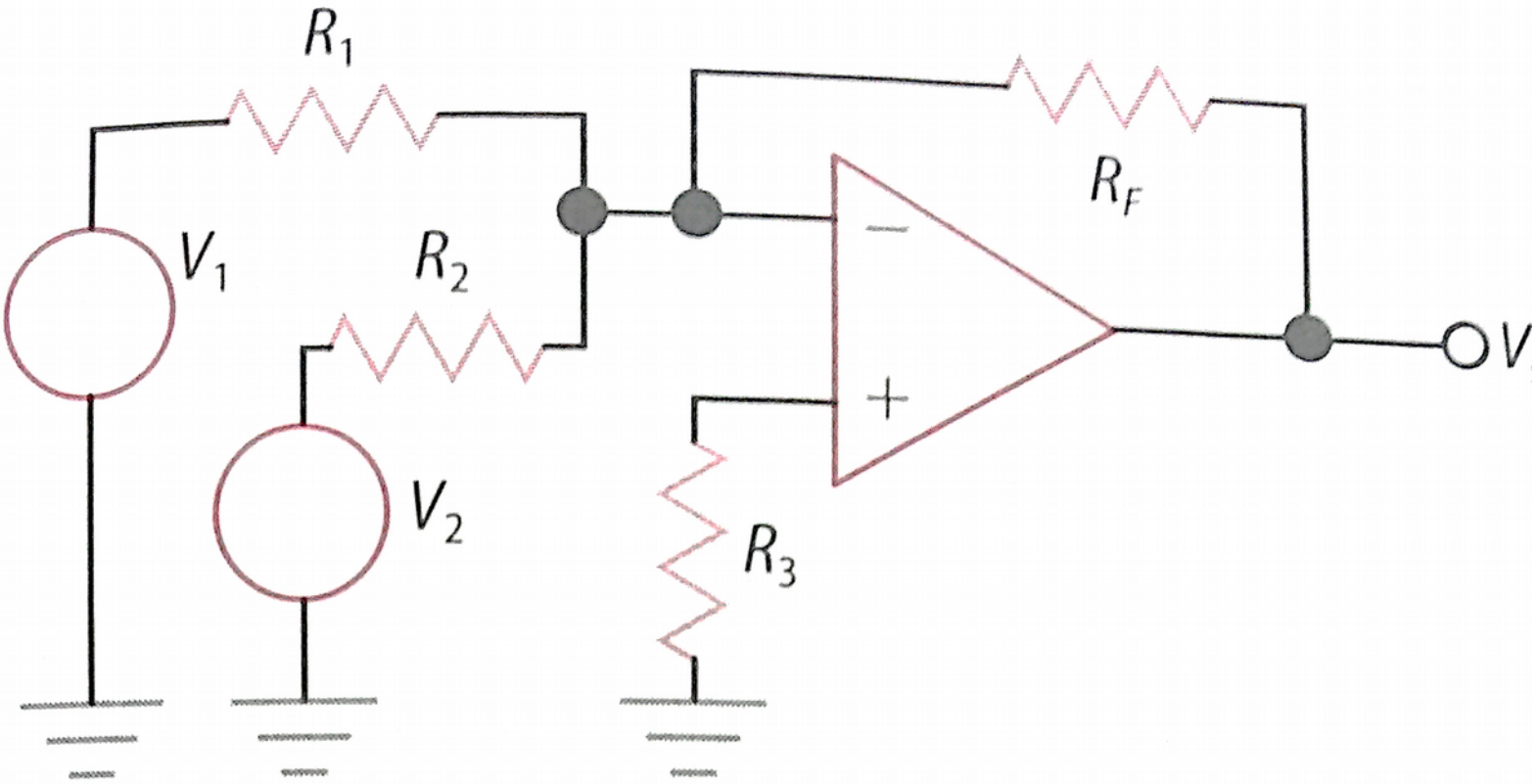
# Aplicações de Amplificadores Operacionais

- **AMPLIFICADORES SOMADORES**

➢ Podem somar sinais CA ou CC;

➢ A saída fornece a soma invertida dos sinais de entrada (entrada inversora);

# Aplicações de Amplificadores Operacionais




$$V_{saída} = -R_F \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

Ex.: Seja $R_1$=$R_2$=$R_F$=10 kΩ, $V_1$=2V e $V_2$=4V

$$V_{saída} = -10k\Omega\left(\frac{2}{10k\Omega} + \frac{4}{10k\Omega}\right) = -6V$$

e fizermos $R_1$=5 $k\Omega$ vermos que $V_1$ aumentará duas vezes e então será somado a $V_2$:

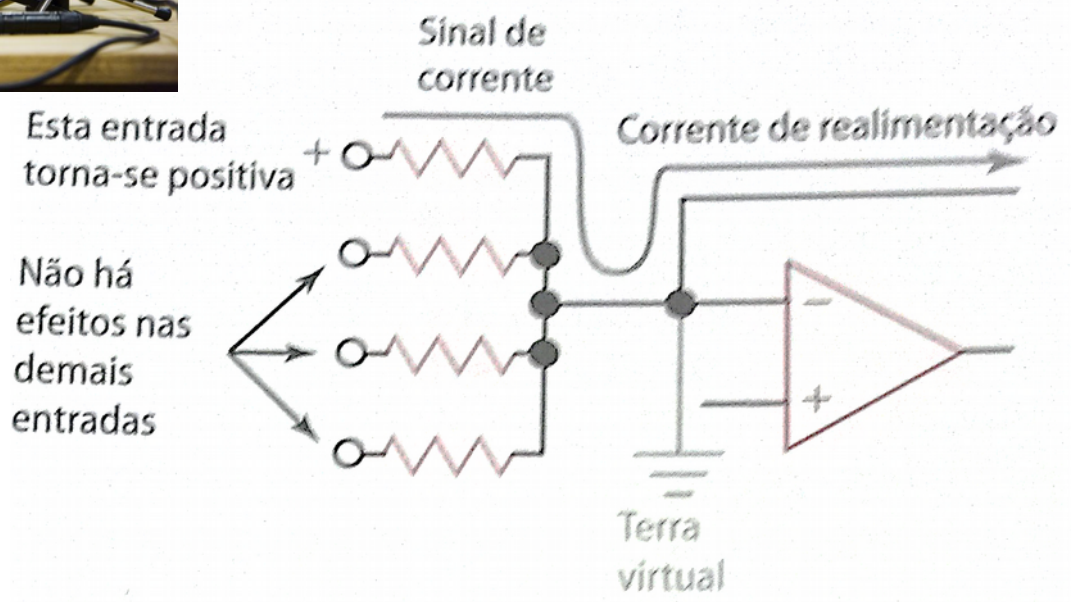
$$V_{saída} = -10k\Omega\left(\frac{2}{5k\Omega} + \frac{4}{10k\Omega}\right) = -8V$$

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

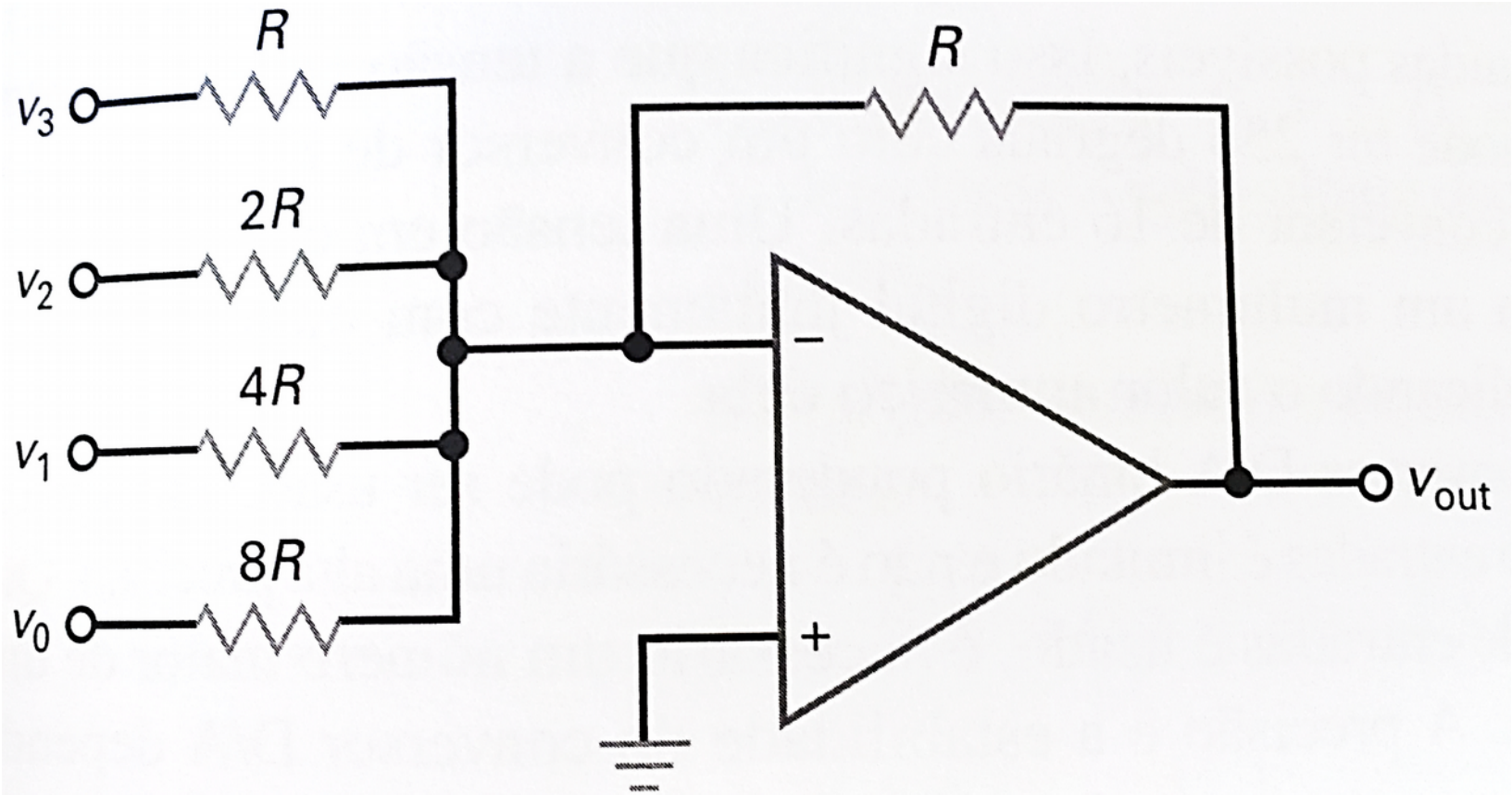
Podemos trabalhar nos valores dos resistores para encontrar diferentes somas. Aumentando $R_F$ é possível influenciar na soma como um todo.

Amplificadores somadores são também chamados MIXERS (misturadores). Por exemplo, um mixer pode ser usado para somar a saída de três microfones numa sessão de gravação. A vantagem é a ausência de interferência entre as entradas devido ao terra virtual do amp op.

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

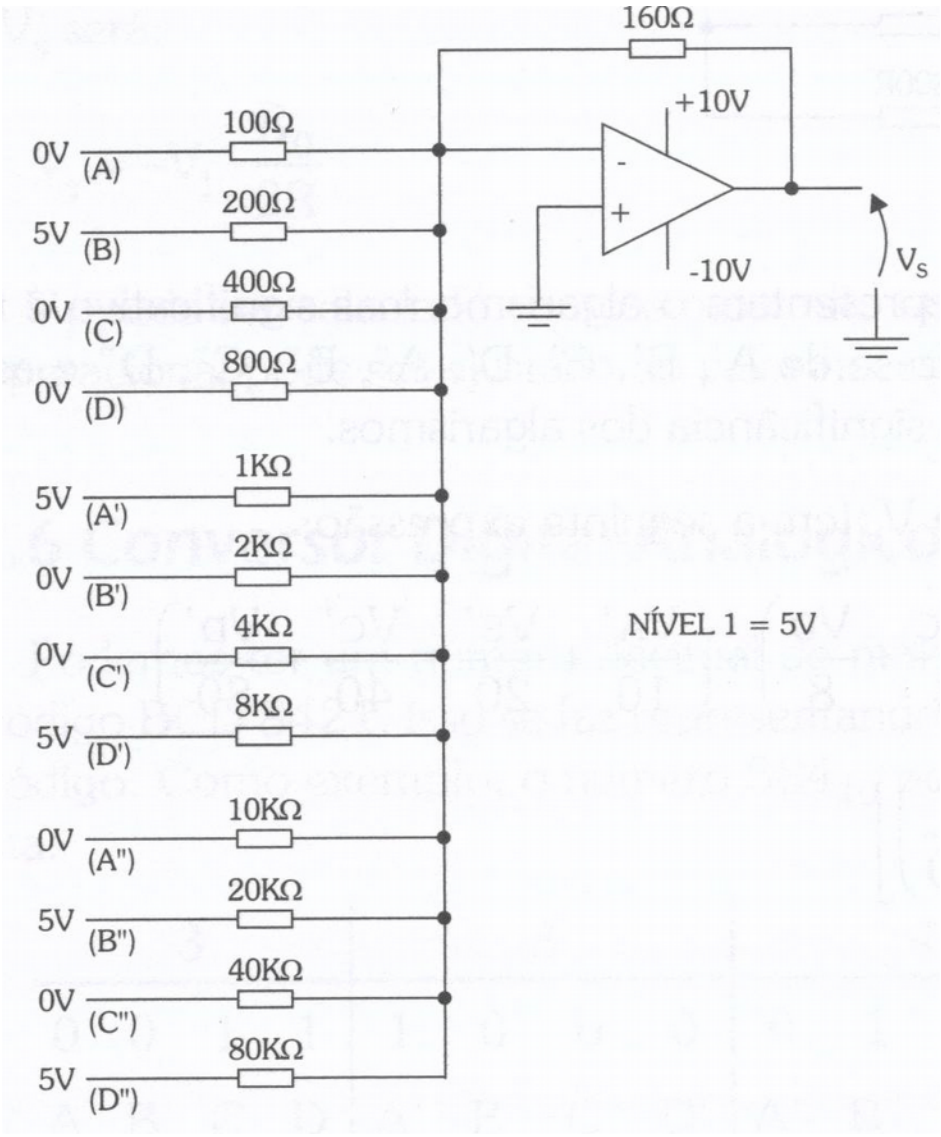


# Aplicações de Amplificadores Operacionais




$$v_{out} = -(v_3 + 0{,}5v_2 + 0{,}25v_1 + 0{,}125v_0)$$

# Aplicações de Amplificadores Operacionais



# Aplicações de Amplificadores Operacionais

**SOMADOR PONDERADO**

Esse circuito produz uma tensão de saída igual à soma ponderada das entradas.

$$V_S = -V.\frac{R_F}{R}.\left[\left(\frac{V_A}{1}+\frac{V_B}{2}+\frac{V_C}{4}+\frac{V_D}{8}\right)+\left(\frac{V'_A}{10}+\frac{V'_B}{20}+\frac{V'_C}{40}+\frac{V'_D}{80}\right)+\left(\frac{V''_A}{100}+\frac{V''_B}{200}+\frac{V''_C}{400}+\frac{V''_D}{800}\right)\right]$$

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

Uma aplicação útil desse somador é num circuito de conversão digital/analógica.

Ex.: Seja o número $4{,}95_{10}$ e o circuito anterior com os valores de resistências ajustados conforme a figura abaixo a seguir.

| A | B | C | D |
|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 | 0 |

$(4)_{10}$

| A' | B' | C' | D' |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 1 |

$(9)_{10}$

| A" | B" | C" | D" |
|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 | 1 |

$(5)_{10}$

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

$$V_s = -5 \cdot \frac{160}{100} \cdot \left[ \left( \frac{1}{2} \right) + \left( \frac{1}{10} + \frac{1}{80} \right) + \left( \frac{1}{200} + \frac{1}{800} \right) \right]$$

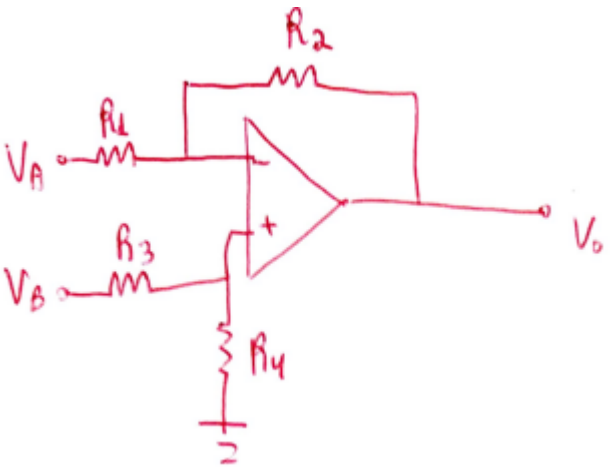
$$V_s = -4{,}95\text{V}$$

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

**AMPLIFICADORES SUBTRATORES**

- Se todos os resistores forem iguais a saída será a diferença entre os dois sinais de entrada.
- Se a tensão na porta inversora for maior que a da porta não-inversora a saída será negativa.
- Modificações nos resistores influenciam na saída.

# Aplicações de Amplificadores Operacionais




$i_3 = i_4$

$$\frac{V_B - V_+}{R_3} = \frac{V_+}{R_4}$$

$$V_+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_B$$

$i_1 = i_2$

$$\frac{V_A - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_o}{R_2}$$

$$V_- = \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)\left(\frac{V_o}{R_2} + \frac{V_A}{R_1}\right)$$

$$\boxed{V_- = V_+}$$

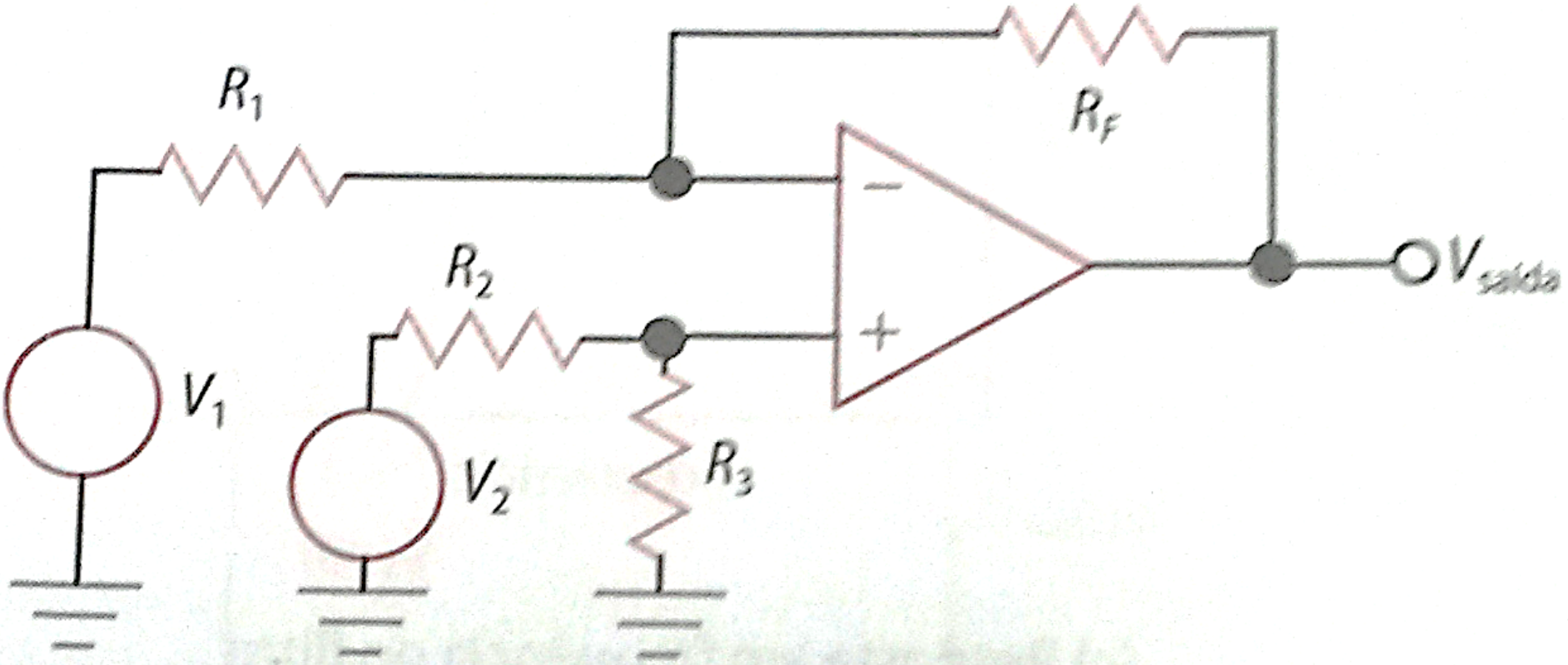
$$\underbrace{\left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)}_{A} V_B = \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)\left(\frac{V_o}{R_2} + \frac{V_A}{R_1}\right)$$

$$AV_B = V_o \underbrace{\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)}_{C} + V_A \underbrace{\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)}_{B} \rightarrow CV_o = AV_B - BV_A$$

$$\boxed{V_o = \frac{A}{C} V_B - \frac{B}{C} V_A}$$

Se $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ $\quad \boxed{V_o = V_B - V_A}$

# Aplicações de Amplificadores Operacionais




$V_{saída} = V_2 - V_1$ para $R_F = R_1 = R_2 = R_3$

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

Ex.: Se $R_F=R_1=R_2=R_3$, $V_1=2V$ e $V_2=5V$

$$V_{saída}=V_2 - V_1=5 - 2= 3V$$

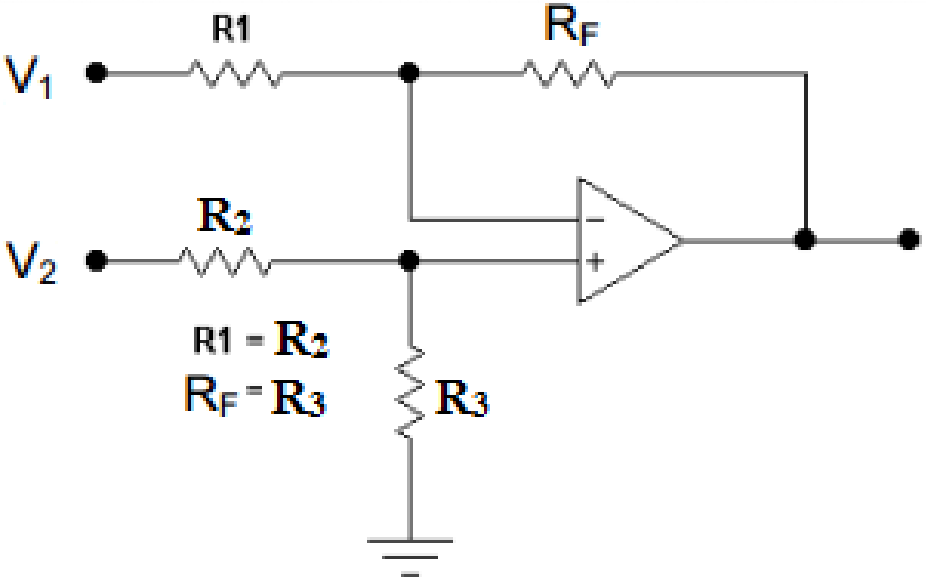
Se $R_F=R_1=R_2=R_3$, $V_1=6V$ e $V_2=5V$

$$V_{saída}=V_2 - V_1=5 - 6= - 1V$$

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

Se $R_F \neq R_1$ e $R_2 \neq R_3$ então o cálculo fica:

$$V_{saída} = \frac{R_F}{R_1}(V_2 - V_1)$$



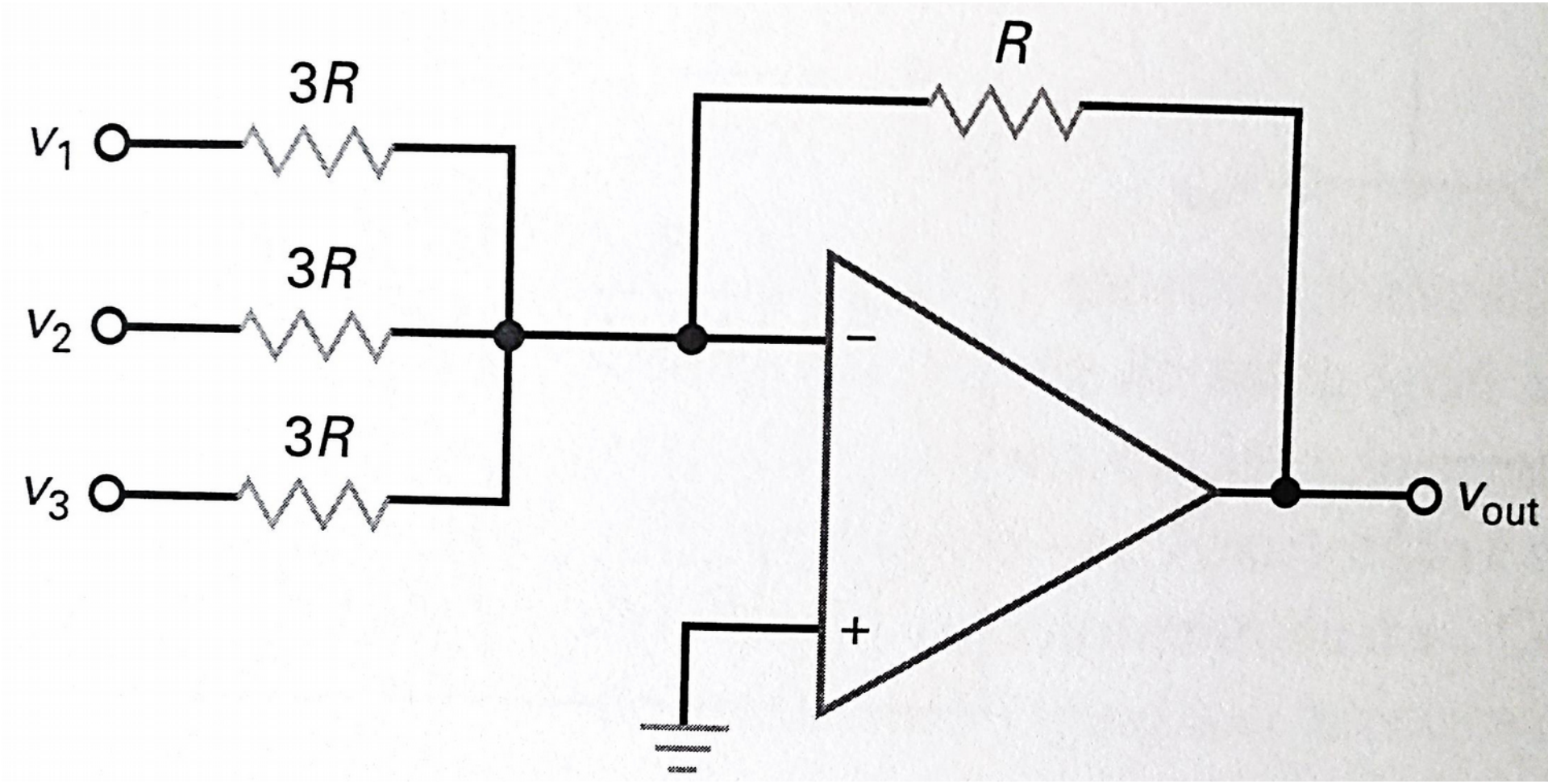
# Aplicações de Amplificadores Operacionais

## GERADOR DE MÉDIA

- A saída do amplificador é a média das tensões de entrada.
- Pode-se usar quantas entradas se desejar desde que a resistência de entrada de cada canal seja de nR onde n é o número de entradas. Para o exemplo da figura a seguir:

$$V_{saída} = \frac{-(V_1 + V_2 + V_3)}{3}$$

# Aplicações de Amplificadores Operacionais



# Aplicações de Amplificadores Operacionais

**RETIFICADORES ATIVOS**

Os retificadores a diodos não operam quando se trabalha com sinais abaixo da tensão de polarização dos diodos (cerca de 0,7V).

É possível utilizar amp ops como retificadores ativos que já operam a partir dos 0 volts. São conhecidos como **retificadores de precisão.**

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

**Retificador de onda completa**

- O amp op fornece a tensão de polarização direta necessária à condução do diodo no semiciclo positivo da entrada.
- A saída nesse semiciclo é negativa polarizando $D_1$ diretamente. O ganho é dado por $R_2/R_1$.
- No semiciclo negativo $D_2$ fica polarizado diretamente. No ponto de medida a tensão deve ser 0 devido ao terra virtual.

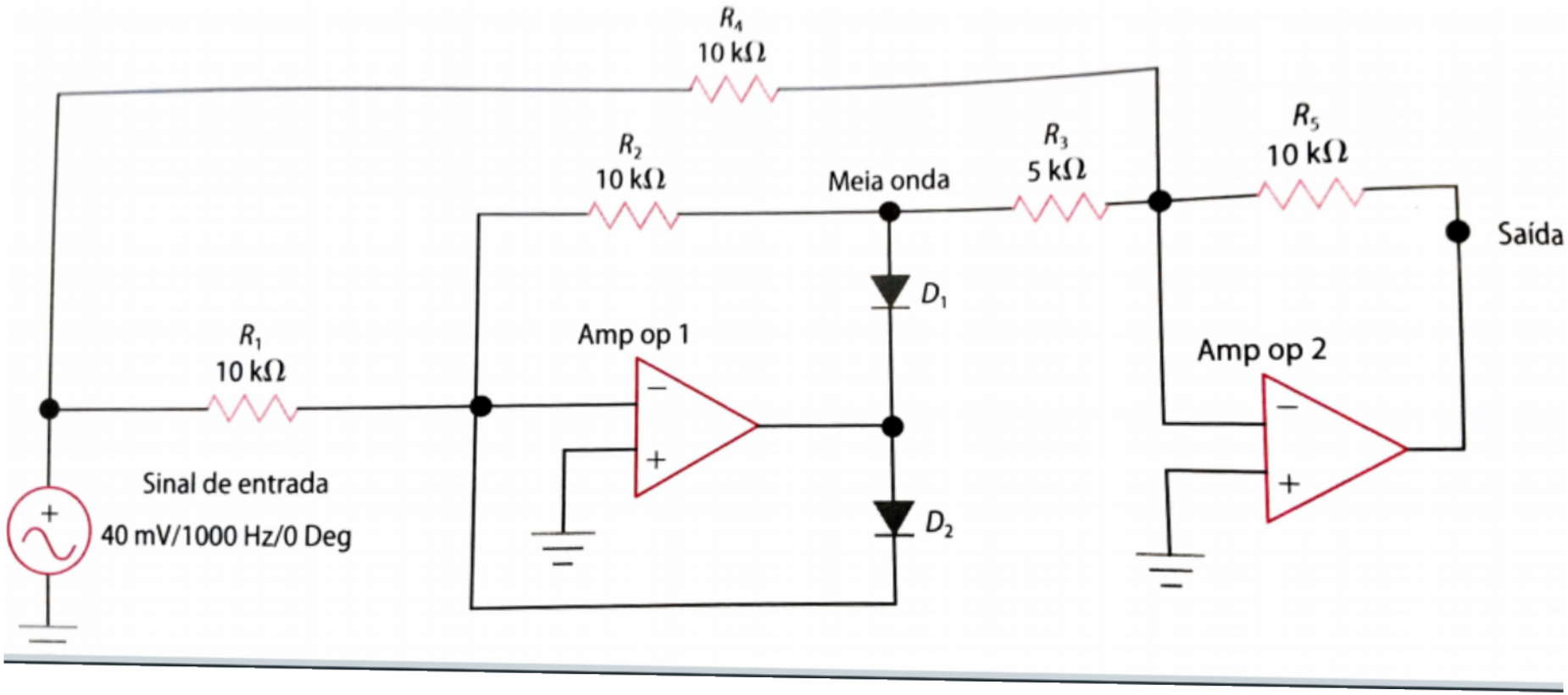
# Aplicações de Amplificadores Operacionais

No segundo amplificador a meia onda negativa recebe ganho 2 ($R_5/R_3$) e é somada a uma onda positiva de ganho 1 ($R_5/R_4$) resultando numa onda negativa de ganho 1 que é invertida na saída desse amplificador.

No corte, que ocorre no semiciclo negativo da entrada, somente esse semiciclo entra no somador e é invertido na saída.

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

$$V'_0 = V_d + V_0$$

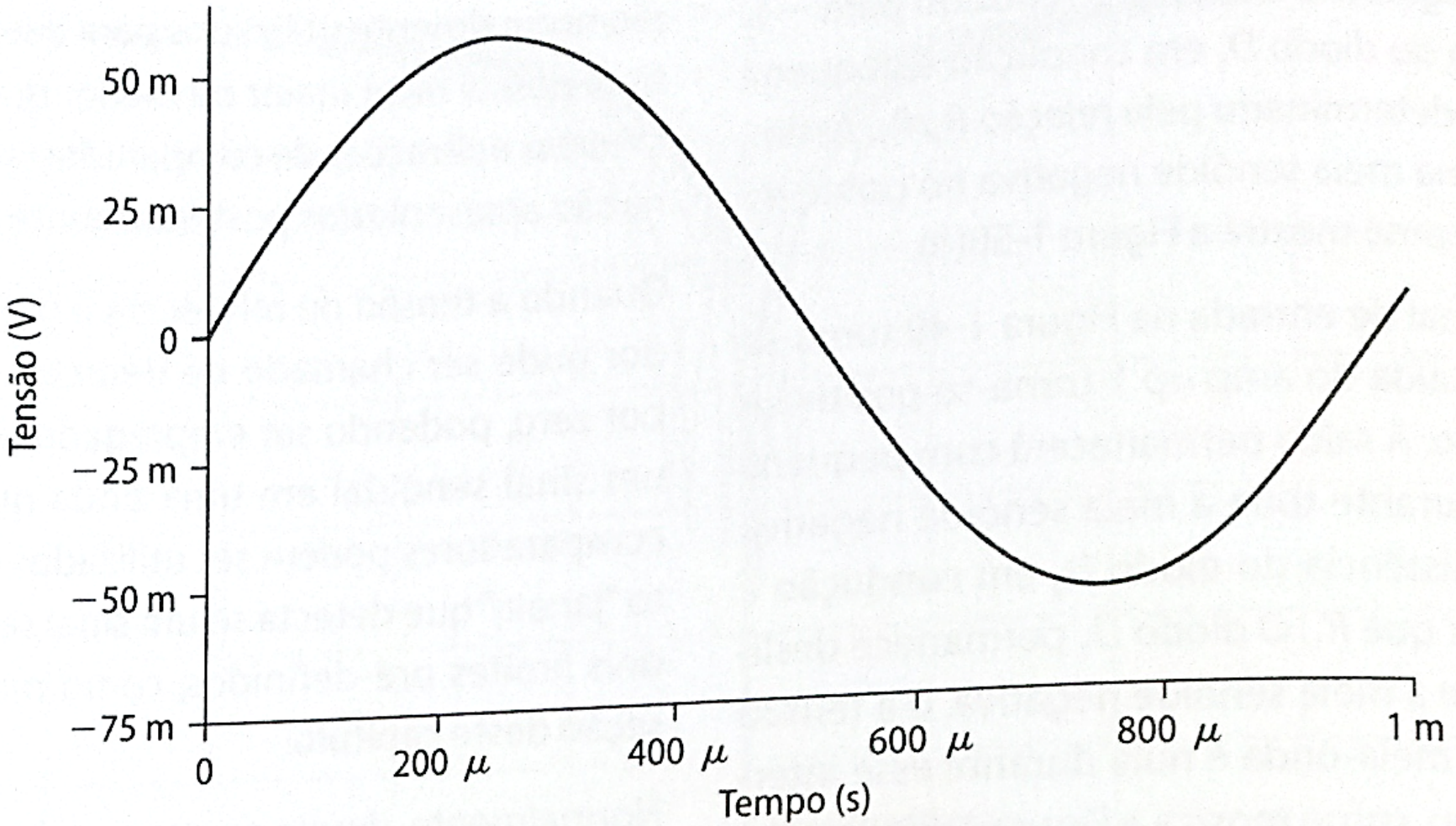


# Aplicações de Amplificadores Operacionais

Em resumo, para os valores de resistência da figura anterior o sinal de meia onda é multiplicado por -2 ($R_5/R_3$) e o sinal de entrada por -1 ($R_5/R_4$).

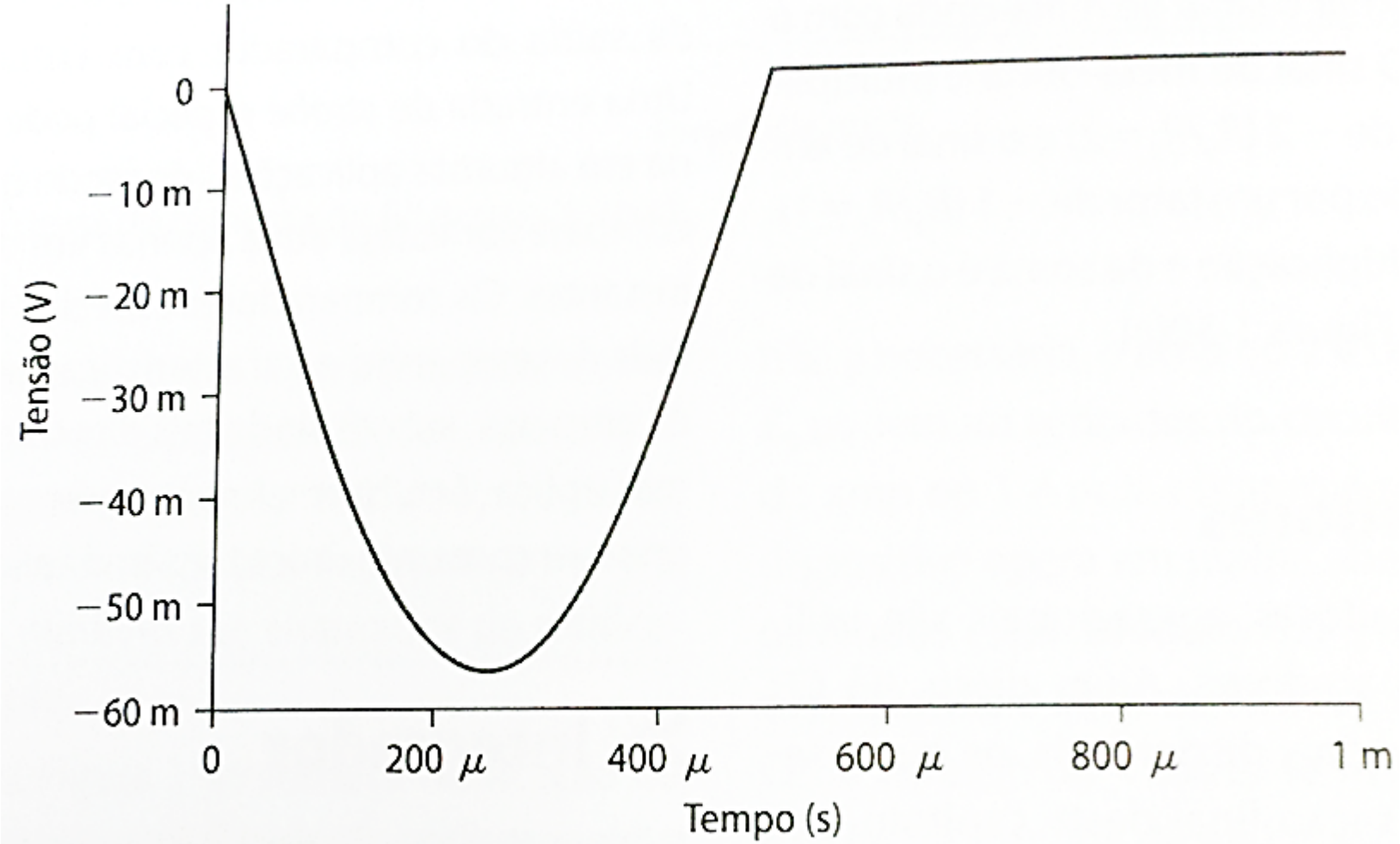
O resultado é somado compondo a onda completa retificada na saída.

# Aplicações de Amplificadores Operacionais




(*a*) Sinal de entrada

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

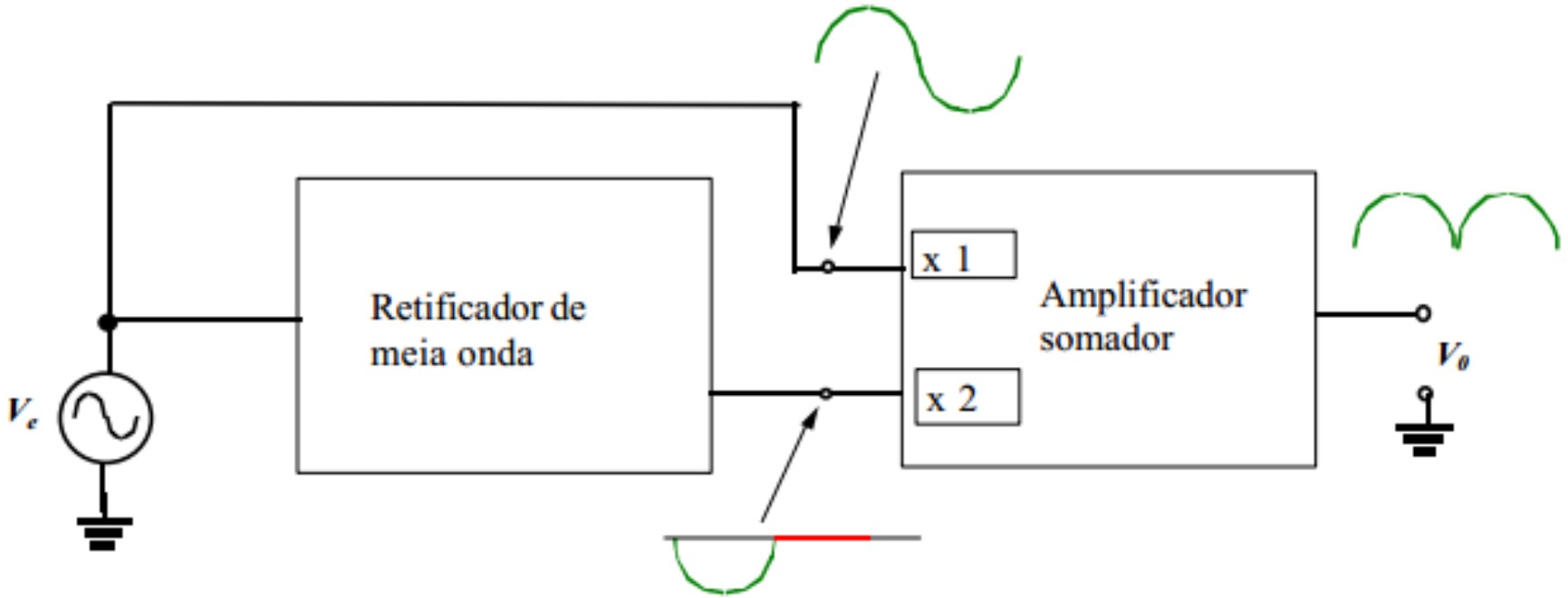



(*b*) Sinal de meia onda

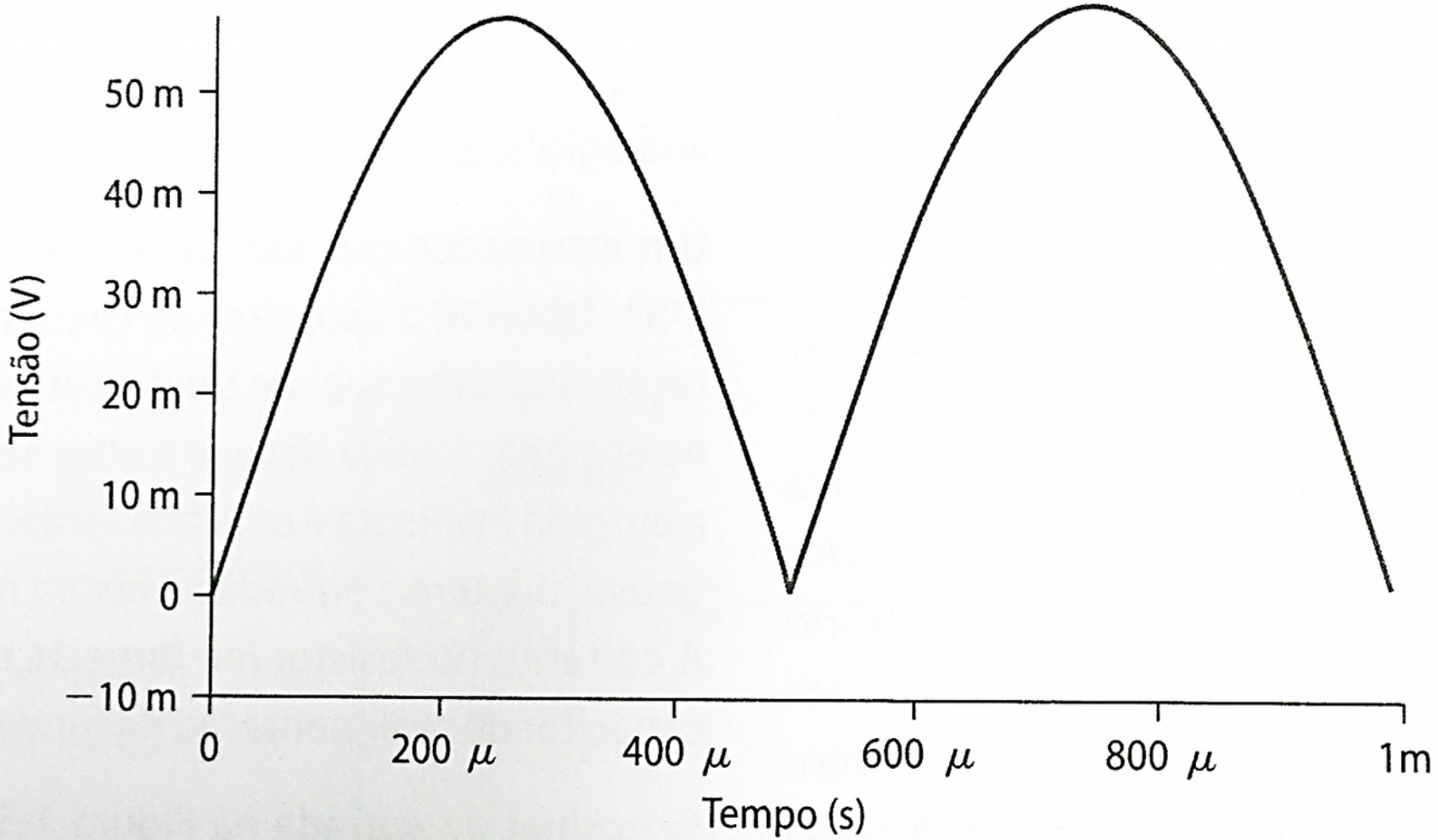
# Aplicações de Amplificadores Operacionais

**Retificador de onda completa**

Trata-se de um retificador de meia onda seguido de um amplificador somador.



# Aplicações de Amplificadores Operacionais




(*c*) Sinal de saída

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

**COMPARADORES**

Um comparador opera em MA de modo que o ganho é muito alto e a saída saturada. Assim num comparador sua saída é digital onde observa-se ou um nível alto ou um baixo apenas.

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

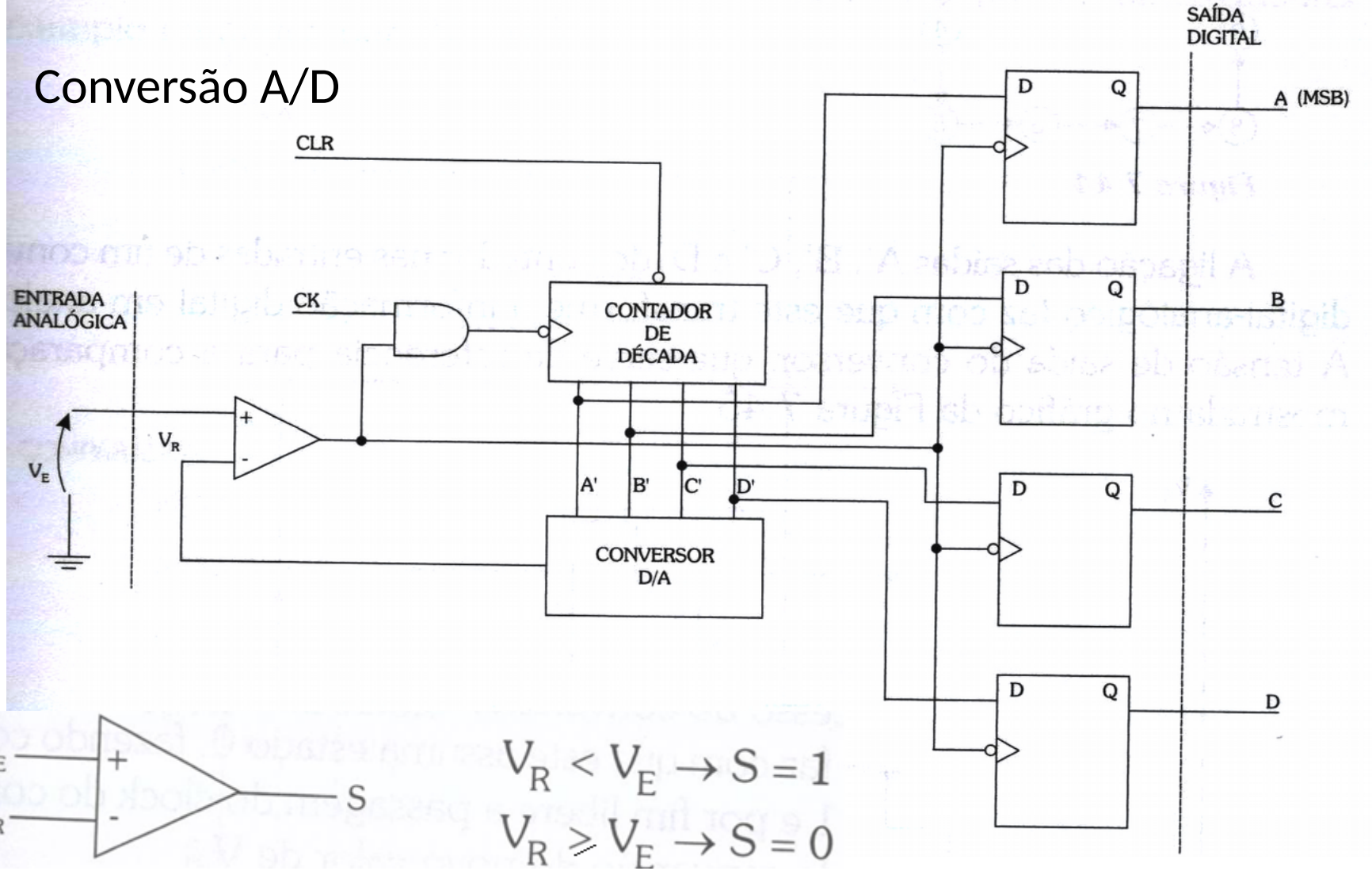
- Se a entrada não inversora for mais positiva que a inversora a saída do comparador estará saturada positivamente.
- Caso contrário a saída estará saturada negativamente.
- Geralmente utiliza-se umas das entradas como referência.

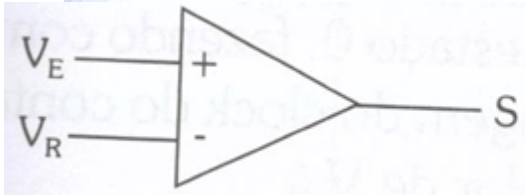
# Aplicações de Amplificadores Operacionais

- Se a tensão de referência utilizada for nula, o comparador se torna um **detector de passagem por zero**.
- Nas aplicações de comparadores em circuitos digitais é importante utilizar um amp op otimizado: chaveamento do estado de saída rápido (menor que 150ns); alto *slew rate*; ampla largura de banda e elevado ganho.

# Aplicações de Amplificadores Operacionais

Conversão A/D




$$V_R < V_E \rightarrow S = 1$$

$$V_R \geq V_E \rightarrow S = 0$$

# Bibliografia


- http://www.if.ufrj.br/~toni/capitulo_03.pdf
- SHULER, Charles; **Eletrônica II**, 2013, 7ª ed, Mc Graw Hill/Bookman, Porto Alegre, RS, Brasil.
- http://www.somaovivo.org/artigos/estrutura-de-ganhos-parte-2-%C2%96-os-amplificadores/
- MALVINO, Albert; BATES, David J.; **Eletrônica,** 2007, vol 2, 7ª ed, Mc Graw Hill/Bookman, Porto Alegre, RS, Brasil.
- IDOETA, I. V. ; CAPUANO F. G. (2012). *Elementos de Eletrônica Digital*, 41 ed. Editora Érica. São Paulo-SP.