

# Eletrônica A

## Amplificadores Operacionais

Prof. Thales E. P. de Almeida

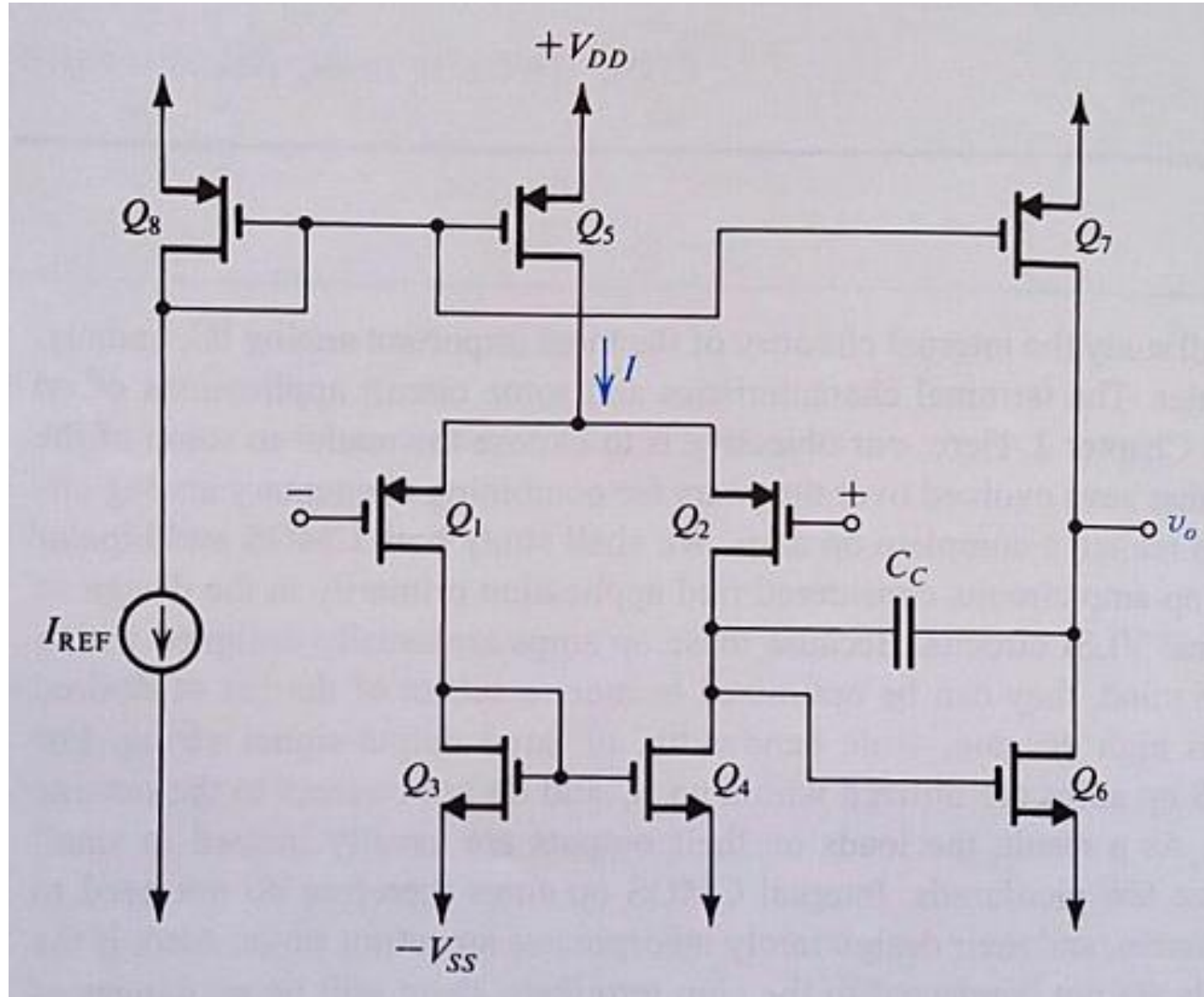
# Aula de hoje

- Amplificadores Operacionais – Conceitos Básicos
- O Amplificador Operacional Ideal
- Configurações com Amplificadores Operacionais
  - Configuração Inversora
  - Configuração Não-Inversora
  - Outras configurações com apenas uma entrada
  - Amplificadores de diferença

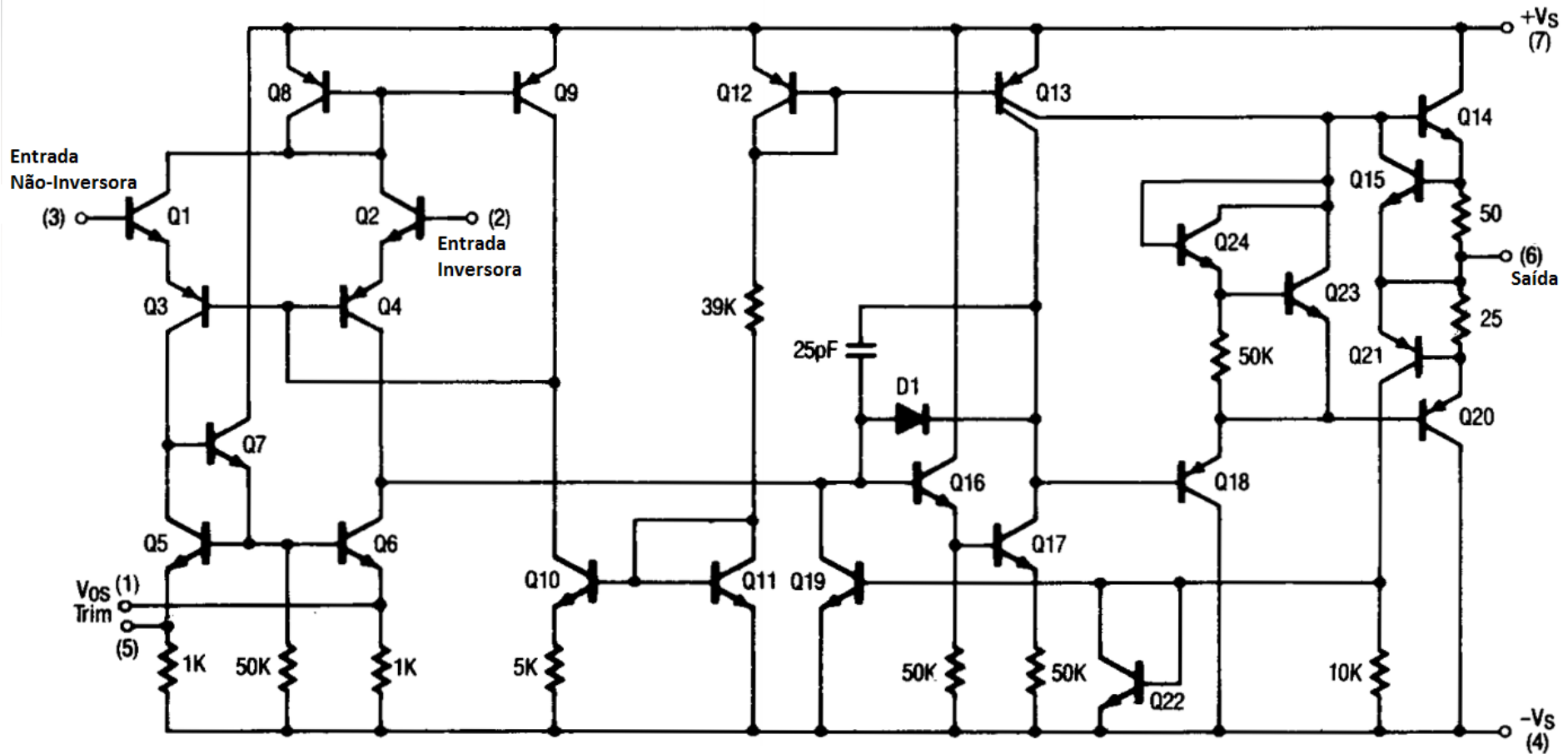
# Amplificadores Operacionais

- O mais importante circuito integrado analógico
- Um dos dispositivos eletrônicos mais versáteis
- Amplificador diferencial apresentando
  - Alto ganho
  - Alta impedância de entrada
  - Baixa impedância de Saída
- Desenvolvimento de amplificadores operacionais em circuito integrado em meados de 1960 ( $\mu$ A 709)
- Dispositivos reais muito próximos ao dispositivo ideal, facilitando o desenvolvimento de circuitos

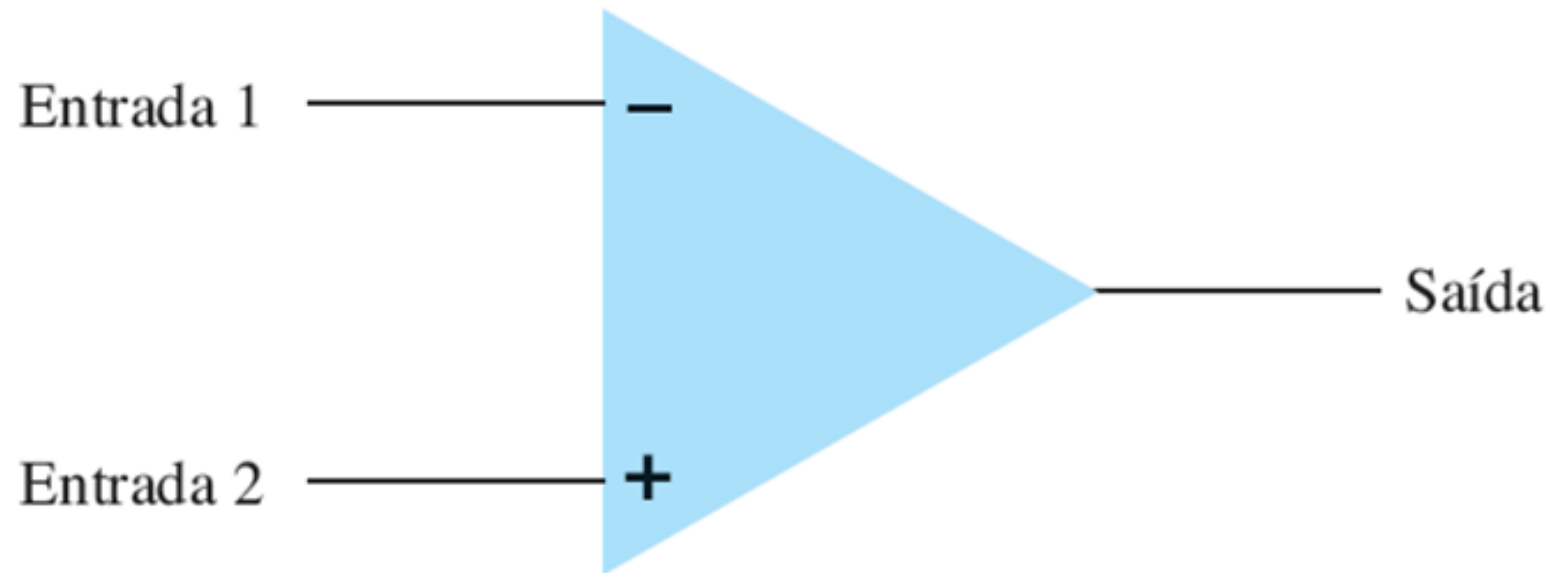
- Amplificador Operacional:



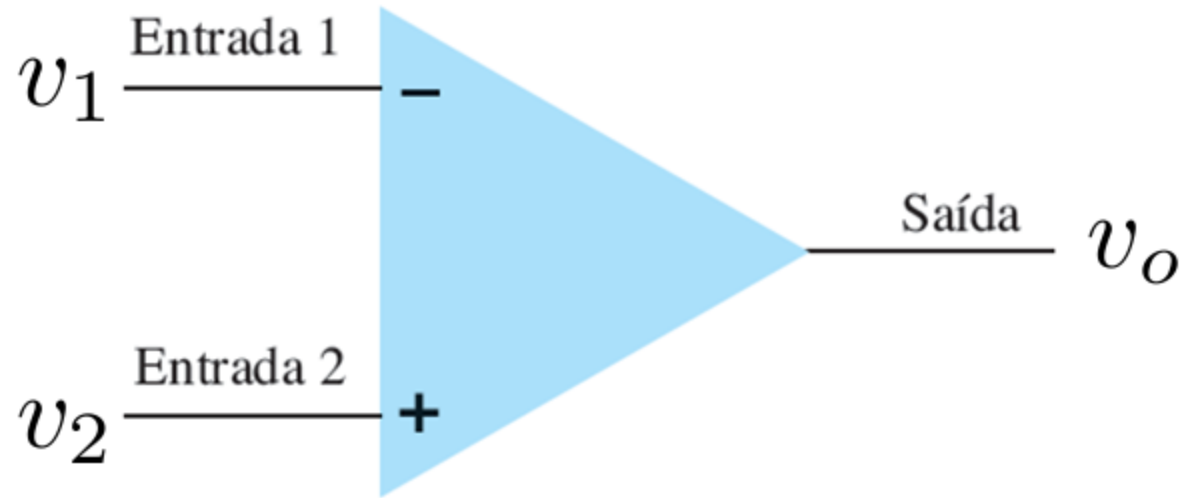
- Amplificador Operacional Comercial (741):



- Dispositivo de três terminais,
  - Duas entradas
  - Uma saída
- Desenho esquemático:



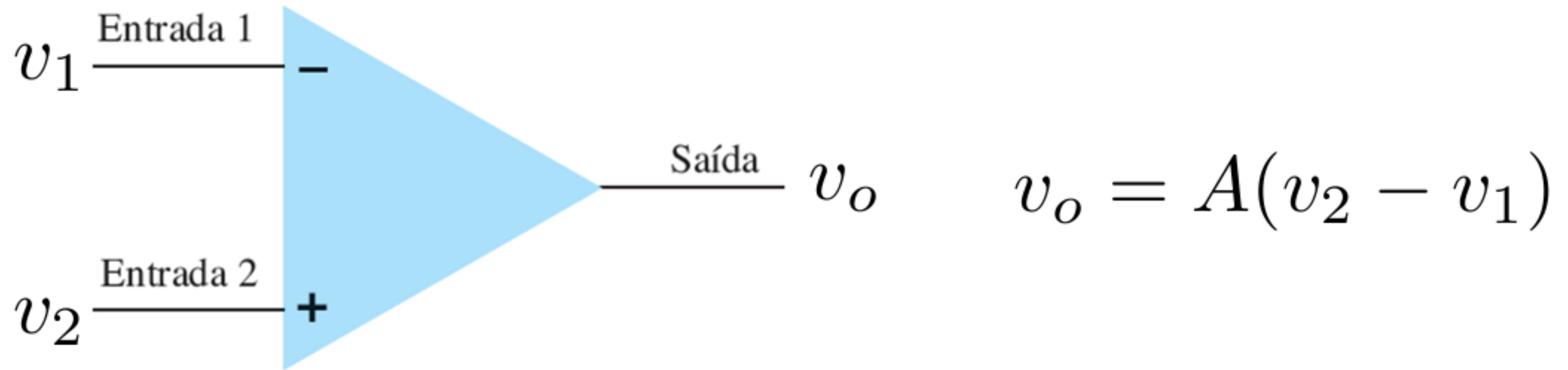
# O Amplificador Operacional



- Sinal na saída proporcional à diferença dos sinais de Entrada, com ganho **A**

$$v_o = A(v_2 - v_1)$$

# O Amplificador Operacional

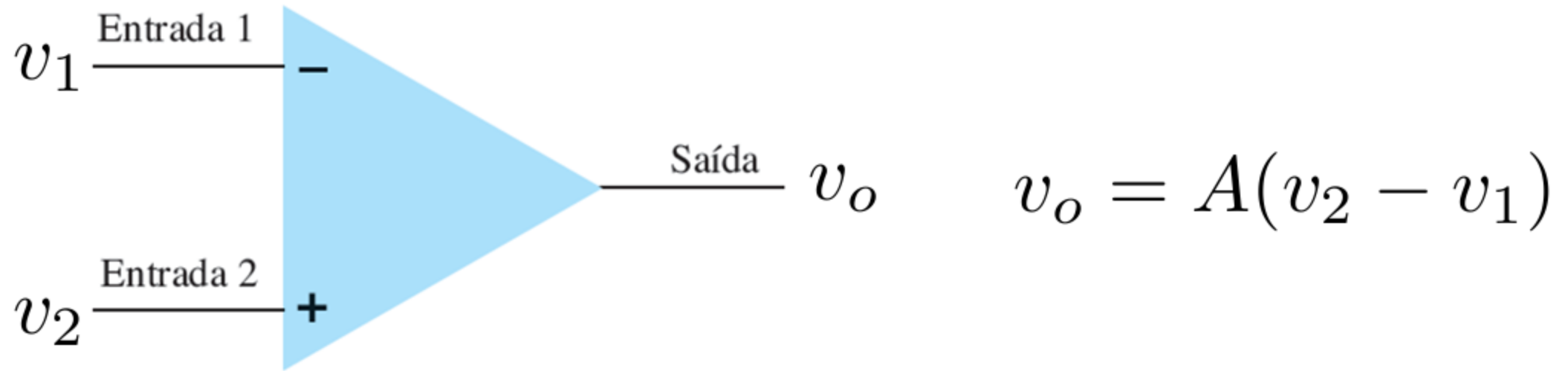


- Sinais na entrada 1 produzem sinais de saída com fase oposta ao sinal de entrada (sinal negativo)

→ Entrada Inversora



# O Amplificador Operacional



- Sinais na entrada 2 produzem sinais de saída em fase com o sinal de entrada

→ Entrada Não-Inversora

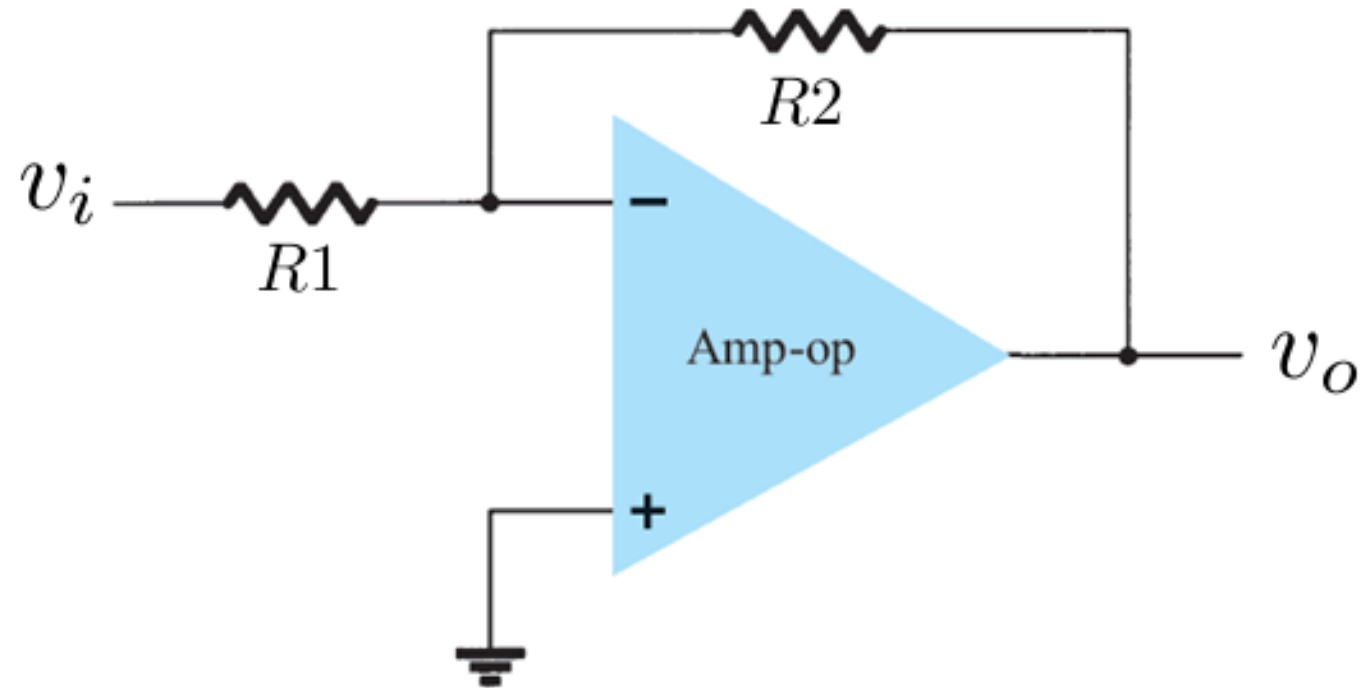
# O Amp-op ideal

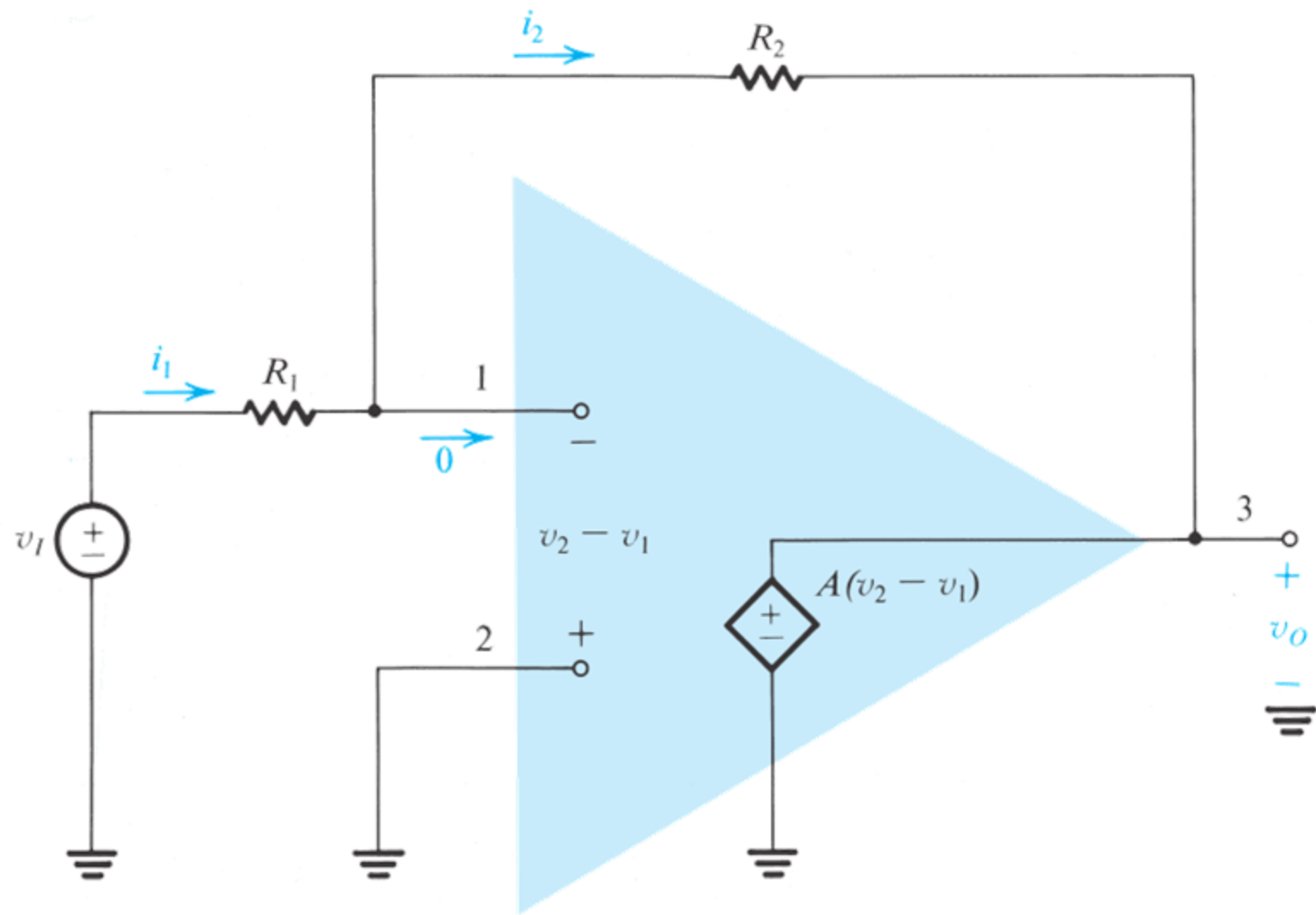
- Cinco Características dos amp-op ideais
  - O amplificador operacional ideal possui ganho infinito
  - A corrente nos terminais de entrada é zero
  - A tensão de saída não depende da corrente de saída
  - O ganho se mantém constante para qualquer frequência
  - Todo sinal em modo comum é rejeitado

# Configurações com Amp-op

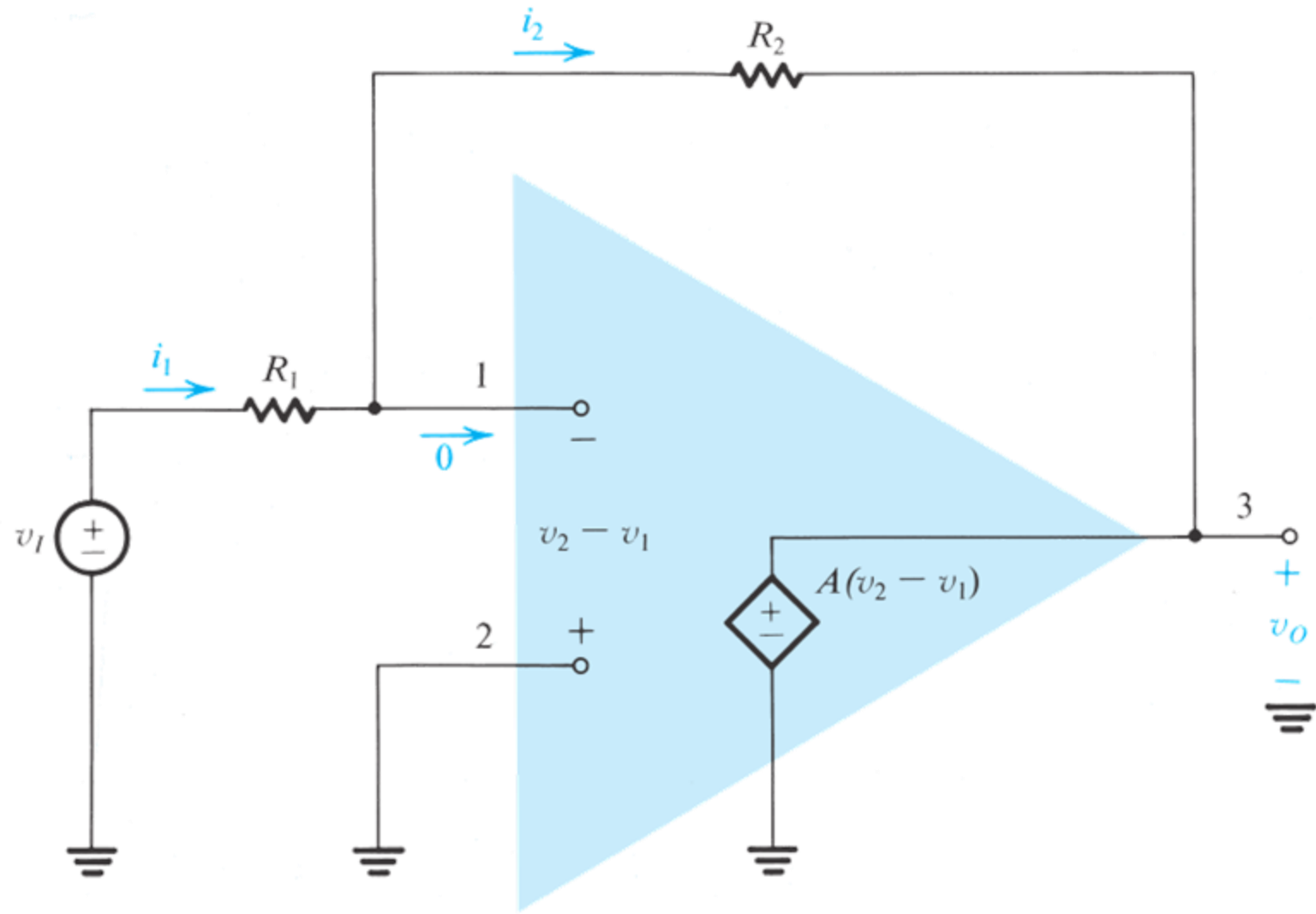
- Desejamos elaborar circuitos com magnitudes de ganho determinadas
- Isso é possível construindo circuitos com realimentação
- Os Amp-op são utilizados em configurações de circuitos com realimentação por elementos passivos

- Por exemplo, configuração Inversora
  - $R2 \rightarrow$  Resistor de Realimentação
  - Realimentação negativa (ligada à porta inversora)





$$v_2 - v_1 = \frac{v_O}{A} = 0$$

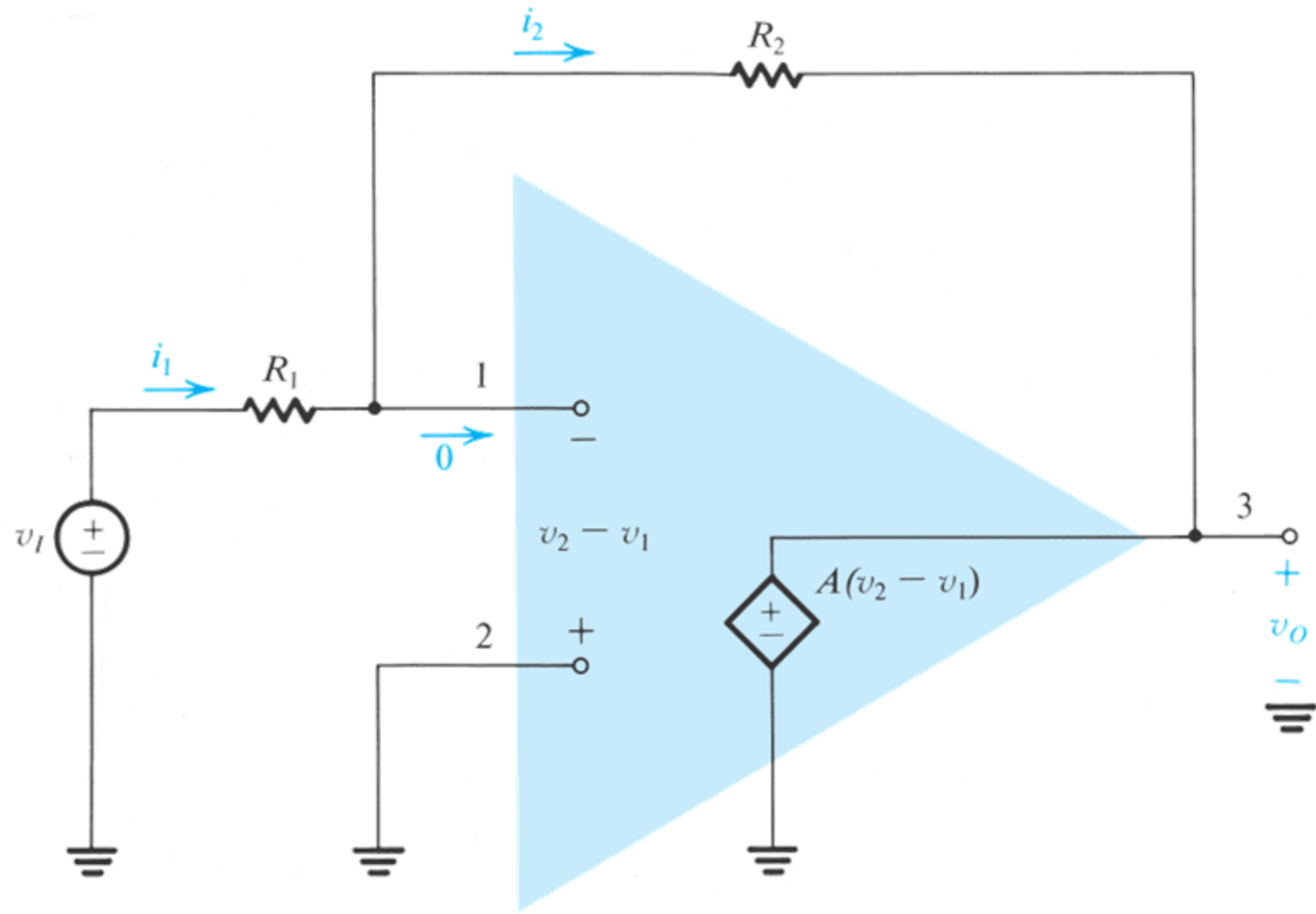


$$v_2 - v_1 = \frac{v_O}{A} = 0$$

$$\frac{v_O}{A} = 0 \text{ pois } A = \infty$$

E portanto  $v_1 = v_2$

Este efeito é chamado de curto-circuito virtual



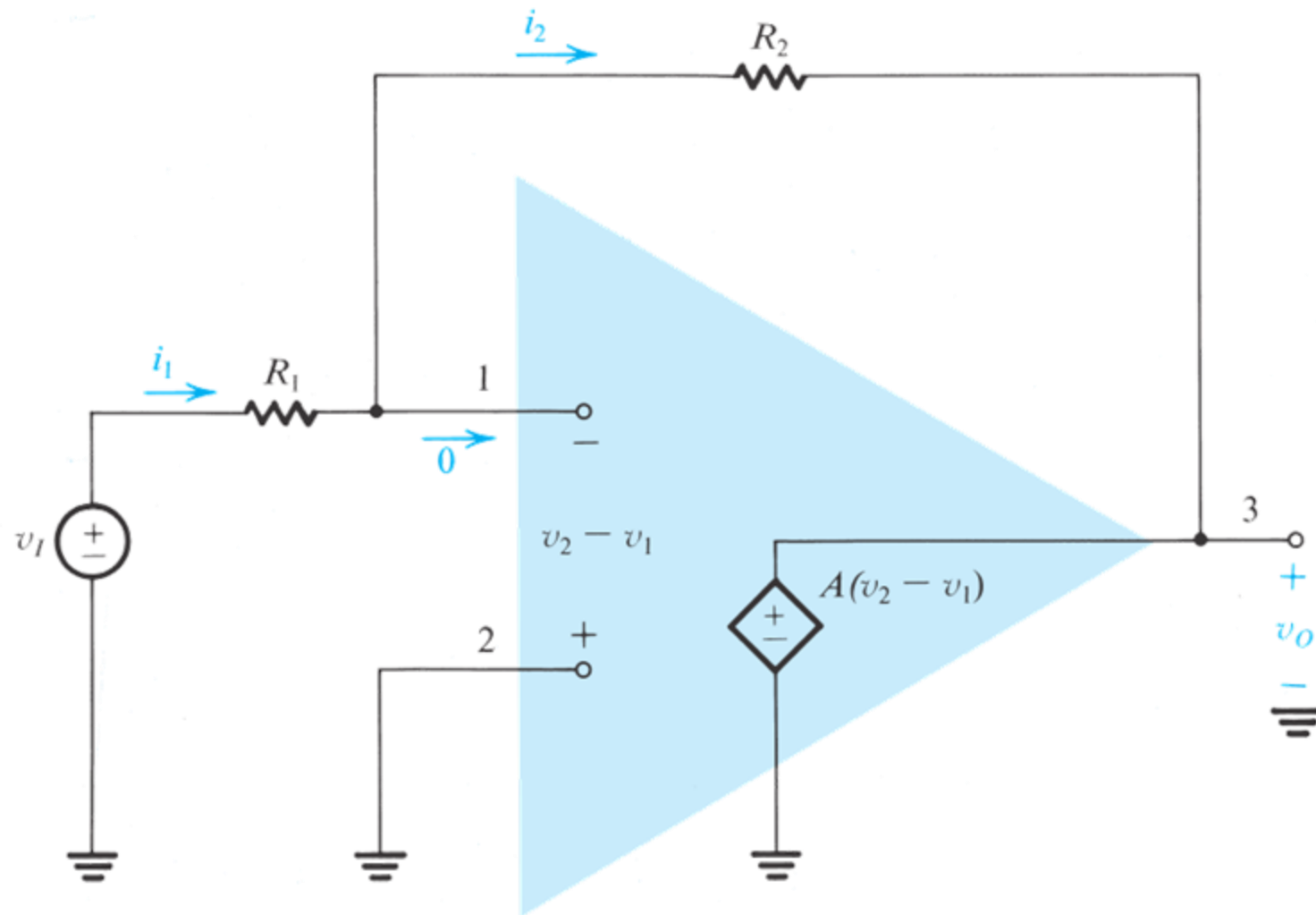
$$v_2 - v_1 = \frac{v_O}{A} = 0$$

$$\frac{v_O}{A} = 0 \text{ pois } A = \infty$$

E portanto  $v_1 = v_2$

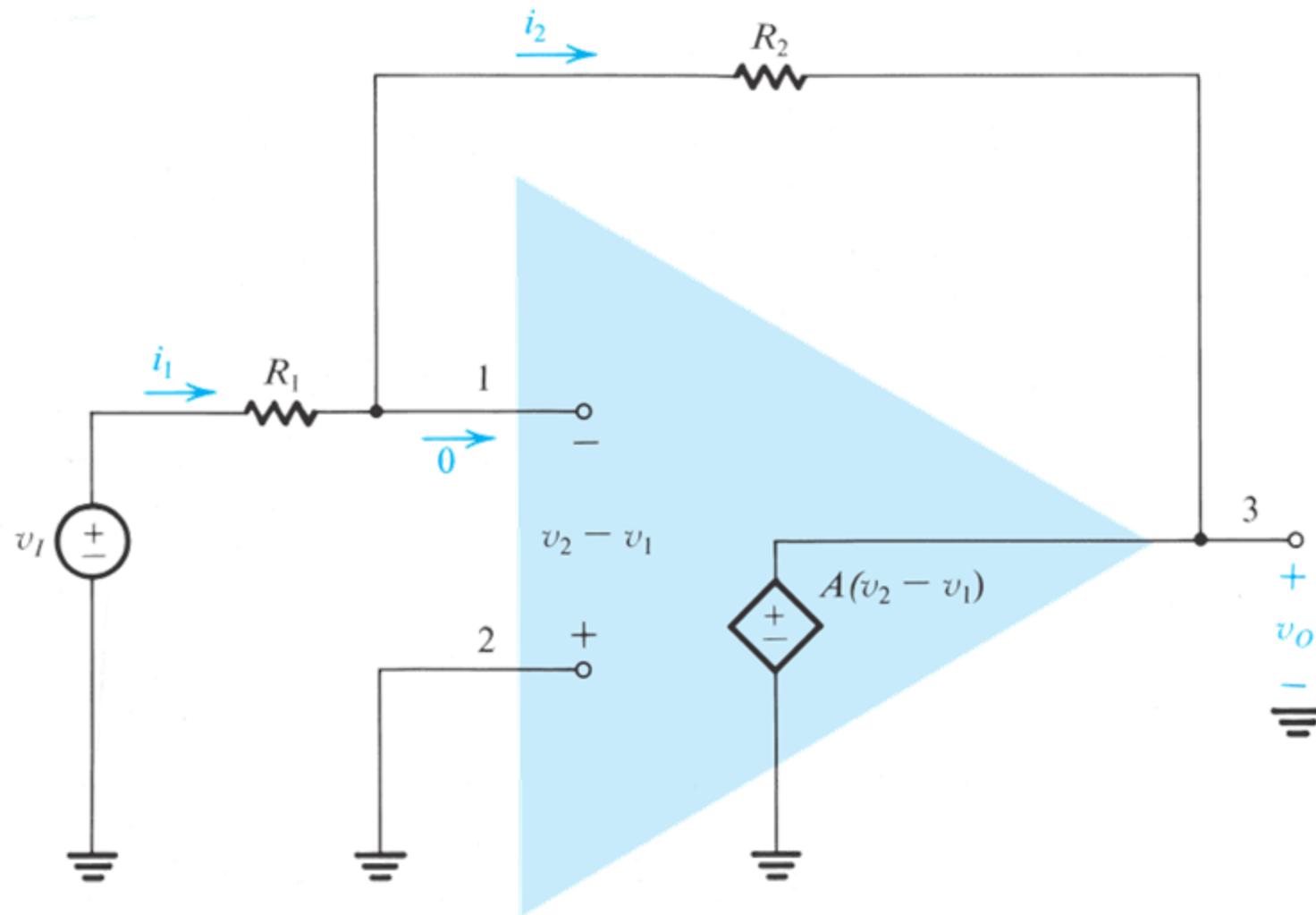
Este efeito é chamado de curto-circuito virtual

- Analisando o circuito, pela lei de Ohm temos que  $i_1 = \frac{v_I - v_1}{R_1}$ . Como  $v_2 = 0$ , então  $v_1 = 0$  e  $i_1 = \frac{v_I}{R_1}$
- Como não há corrente entrando pelo terminal,  $i_2 = i_1$  então  $v_O = v_1 - i_1 R_2$



- $v_O = v_1 - i_1 R_2$
  - Lembrando que  $v_2 = 0$ ,  $v_1 = 0$
  - $v_O = 0 - \frac{v_I}{R_1} R_2$
  - Portanto o ganho de tensão é
- $$\frac{v_O}{v_I} = -\frac{R_2}{R_1}$$

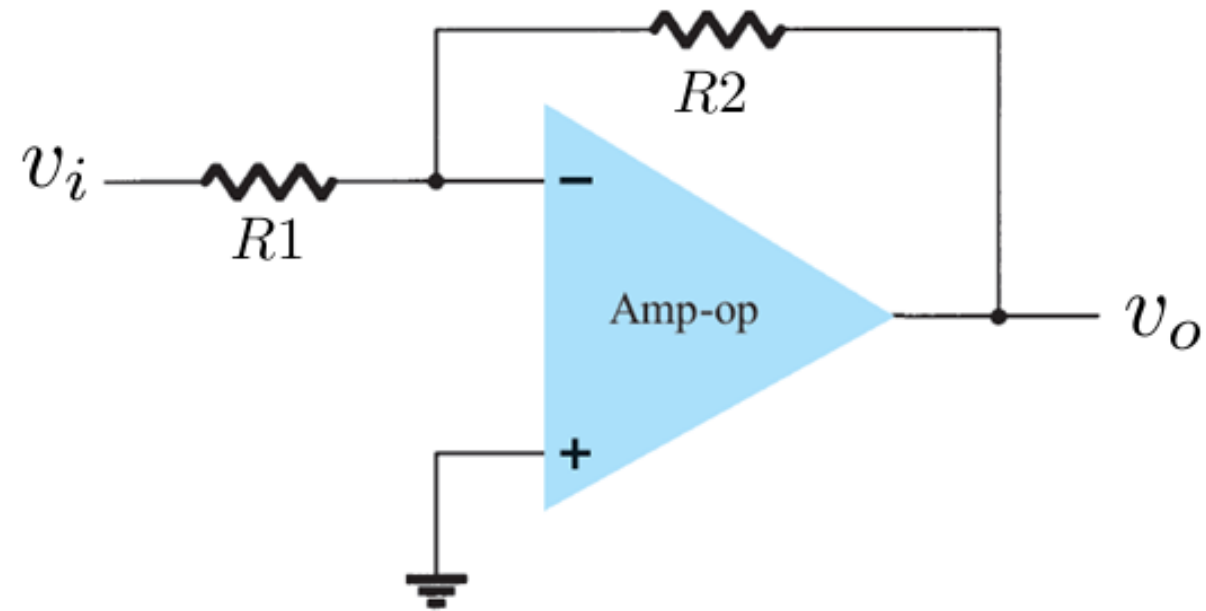




- $v_O = v_1 - i_1 R_2$
- Lembrando que  $v_2 = 0$ ,  $v_1 = 0$
- $v_O = 0 - \frac{v_I}{R_1} R_2$
- Portanto o ganho de tensão é  

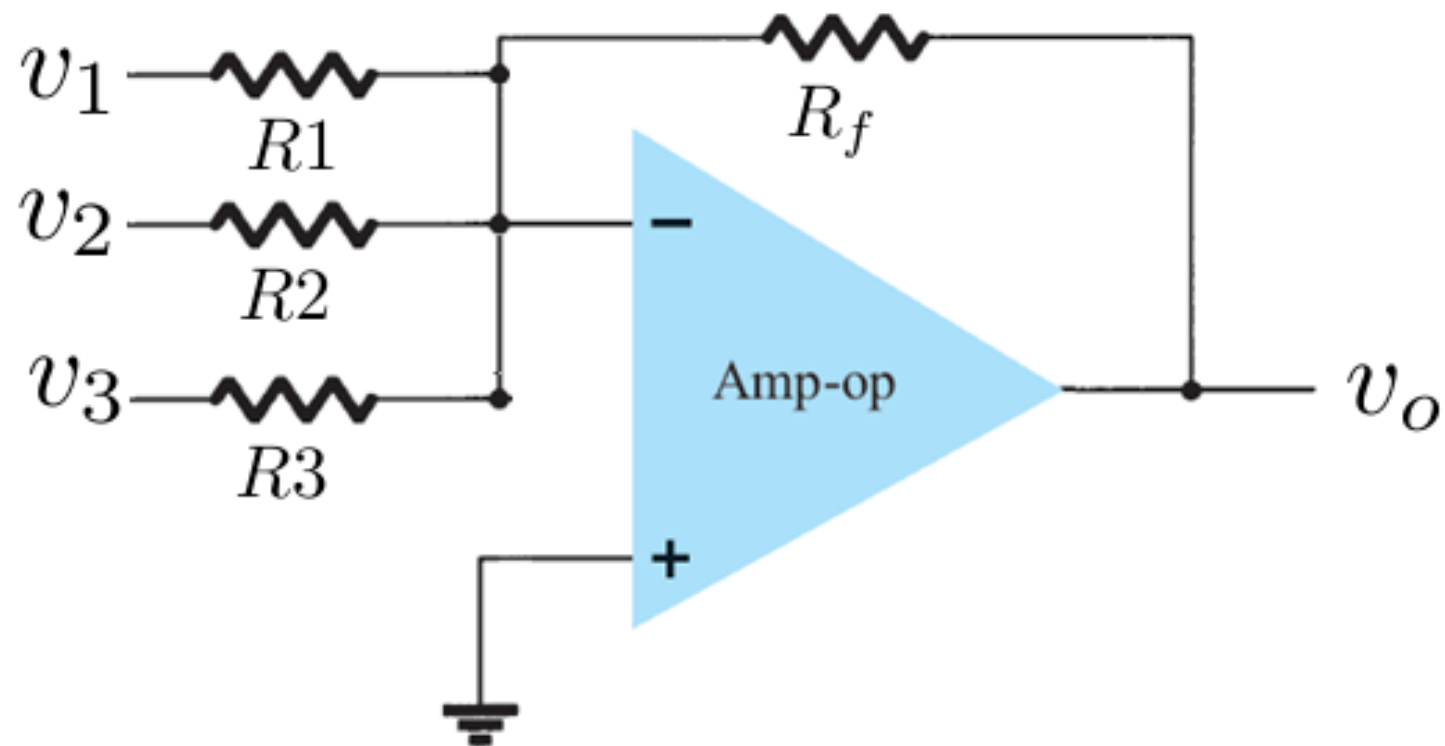
$$\frac{v_O}{v_I} = -\frac{R_2}{R_1}$$
- Ou seja, o sinal de entrada  $v_I$  é amplificado por um fator  $-\frac{R_2}{R_1}$
- O ganho é calculável, previsível
- Note que o sinal negativo implica que o sinal terá fase oposta ao sinal de entrada

- Configuração Inversora:
  - Ganho negativo



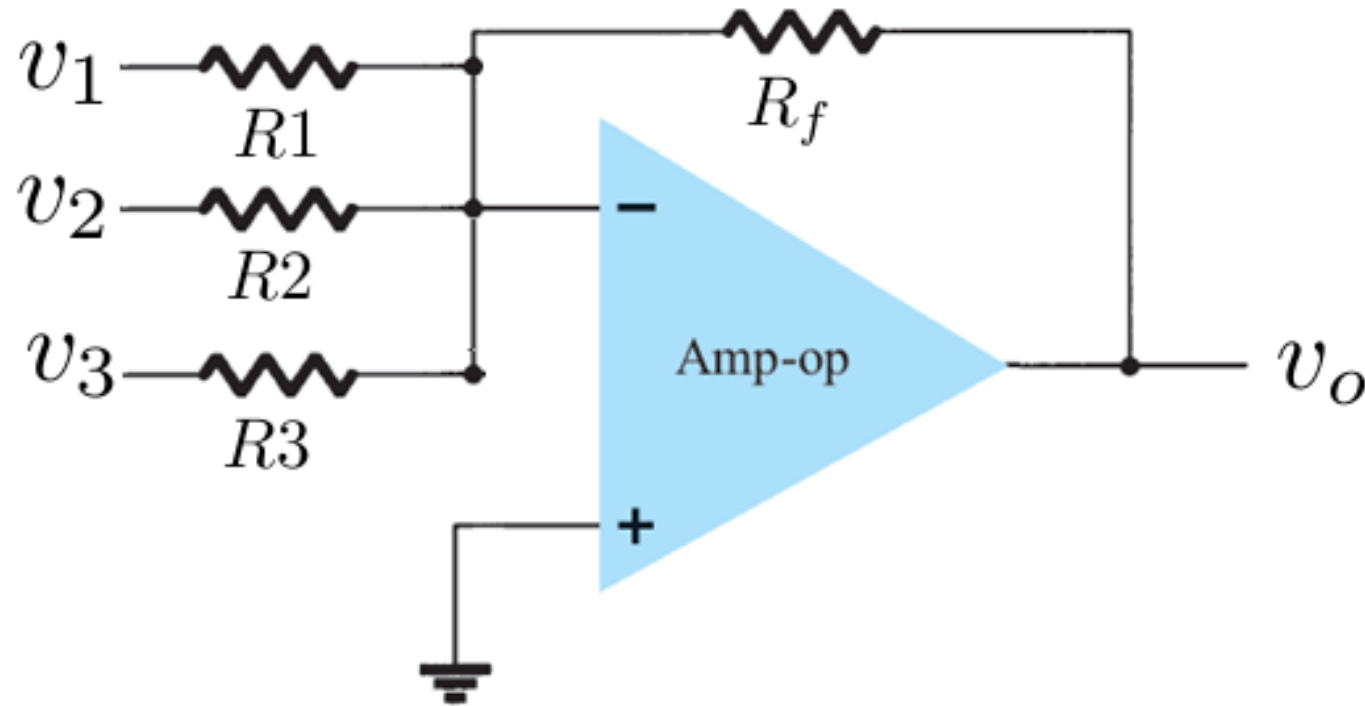
$$v_o = -\frac{R2}{R1}v_i$$

- Somador Ponderado



- Somador Ponderado

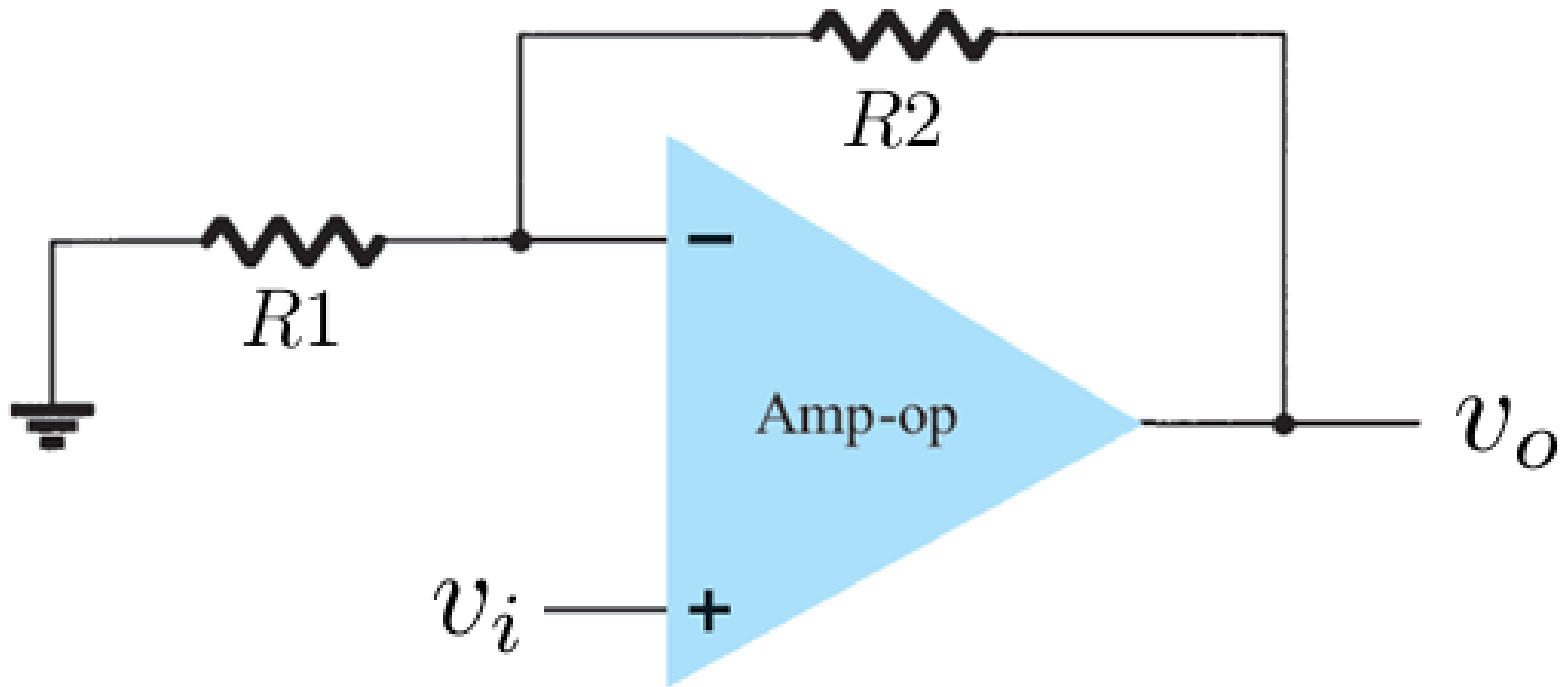
!! Demonstrar este desenvolvimento e entregar junto com o Relatório da prática R1



$$v_o = - \left( \frac{R_f}{R_1} v_1 + \frac{R_f}{R_2} v_2 + \frac{R_f}{R_3} v_3 \right)$$

- Configuração Não-Inversora:

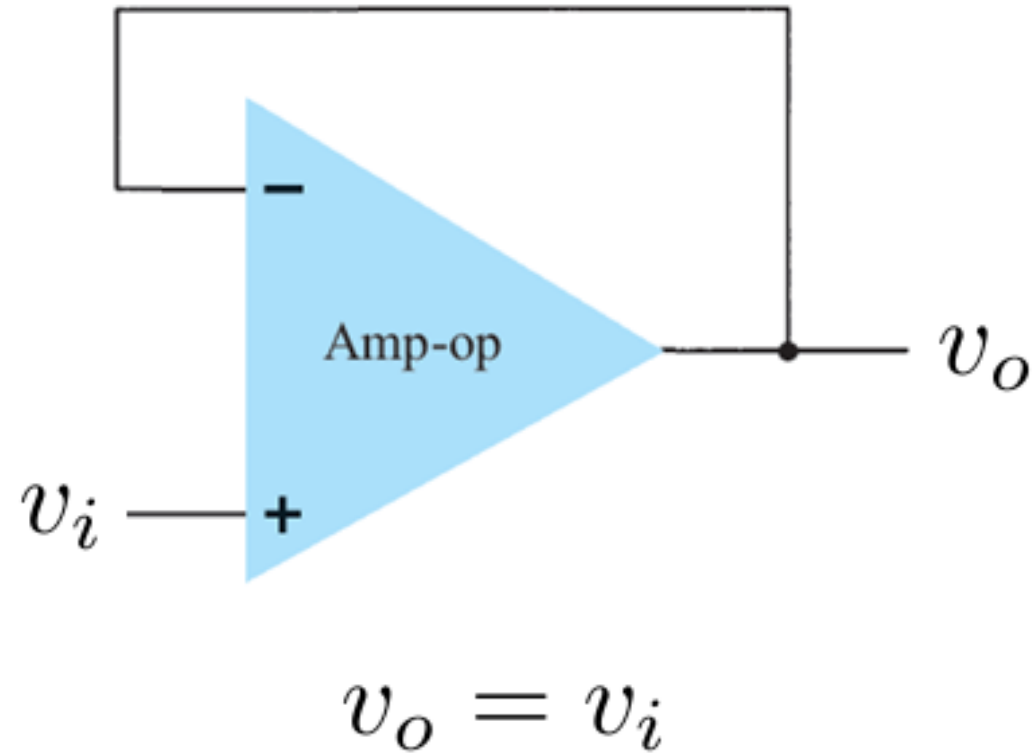
!! Demonstrar este desenvolvimento e entregar junto com o Relatório da prática R1



$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_i$$

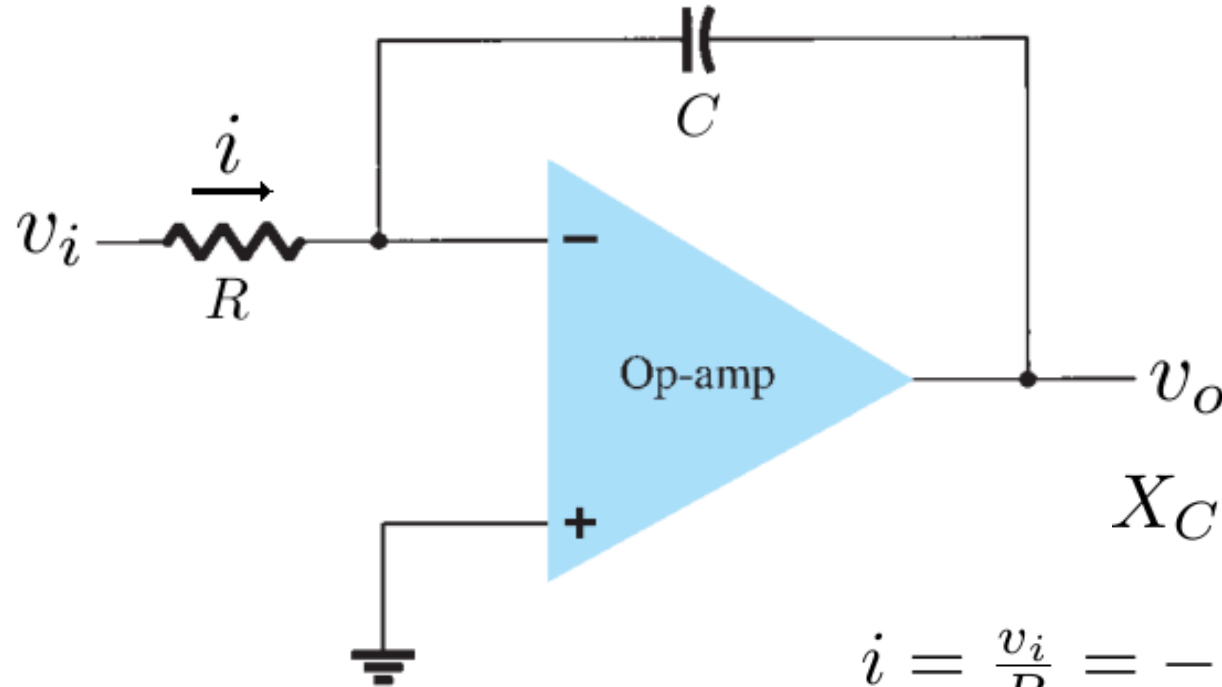
- Outras configurações que operam com apenas um sinal de entrada:

➤ Seguidor de Tensão



- Outras configurações que operam com apenas um sinal de entrada:

➤ Integrador



$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{sC}$$

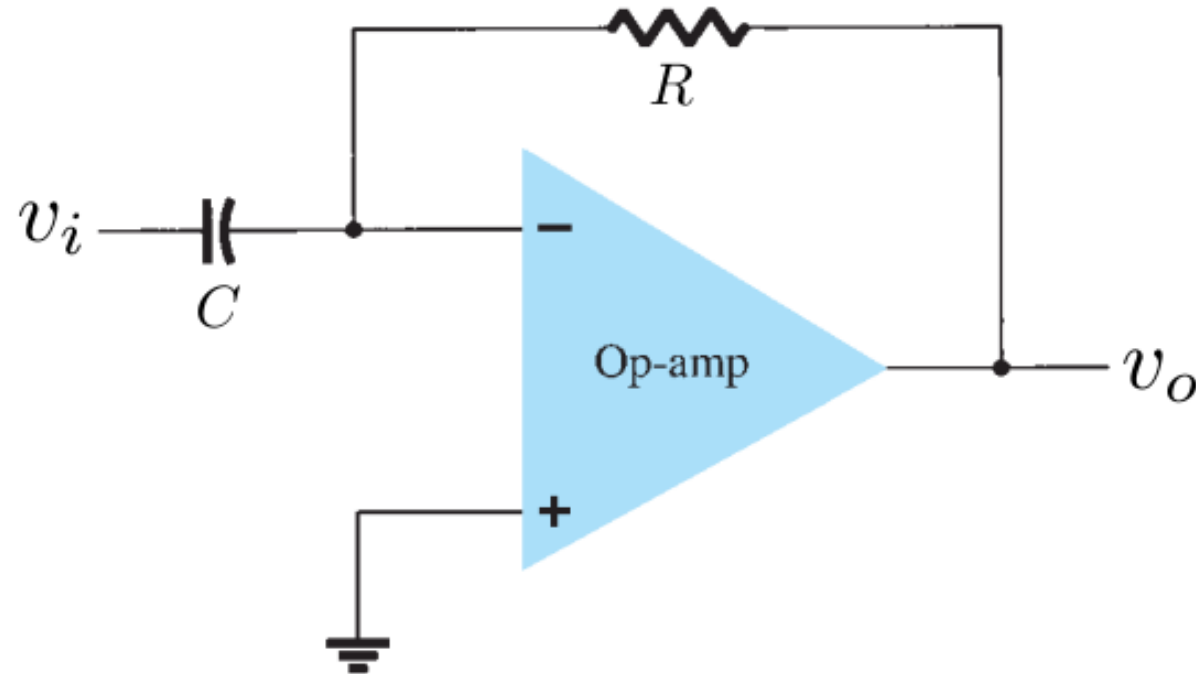
$$i = \frac{v_i}{R} = -\frac{v_o}{X_C} = \frac{-v_o}{1/sC} = -sCv_o$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{-1}{sCR}$$

$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int v_i(t) dt$$

- Outras configurações que operam com apenas um sinal de entrada:

➤ Diferenciador




$$v_o(t) = -RC \frac{dv_i(t)}{dt}$$




- Operações com dois sinais de entrada
  - O amplificador ideal tem ganho diferencial infinito
  - Será necessário elaborar uma configuração capaz de operar sinais nas duas entradas com ganho conhecido.

- Operações com dois sinais de entrada
  - O amplificador ideal tem ganho diferencial infinito
  - Será necessário elaborar uma configuração capaz de operar sinais nas duas entradas com ganho conhecido.
- Amplificador de diferença
  - Baseado nas configurações Inversora e Não-inversora

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_i \quad v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_i$$


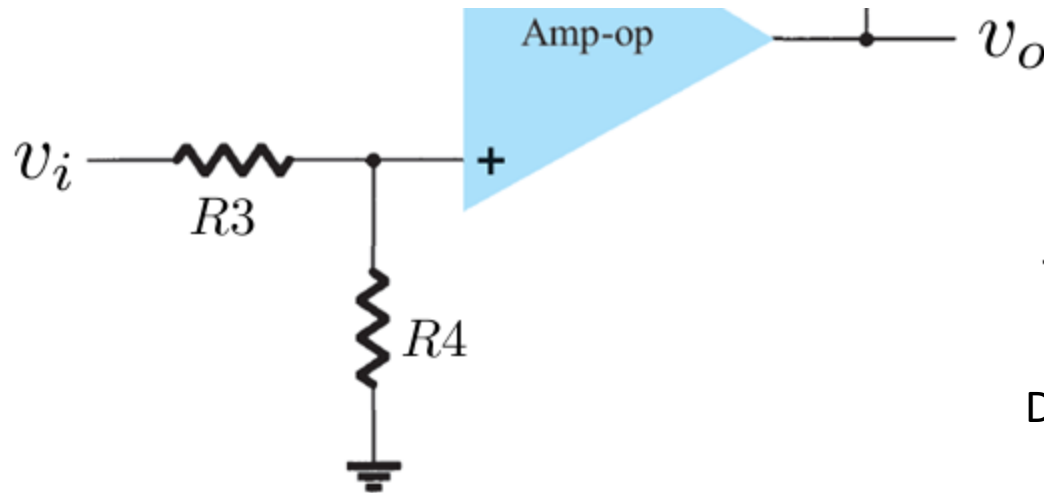
- Operações com dois sinais de entrada
  - O amplificador ideal tem ganho diferencial infinito
  - Será necessário elaborar uma configuração capaz de operar sinais nas duas entradas com ganho conhecido.
- Amplificador de diferença
  - Baseado nas configurações Inversora e Não-inversora

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_i \quad v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_i$$


- É necessário condicionar o ganho das duas operações, visto que a operação não-inversora possui ganho  $(1+x)$
- Portanto vamos atenuar esse ganho para ficar igual à inversora

# Amplificador de diferença

- Atenuando com divisor resistivo:



Ganho da configuração  
não inversora

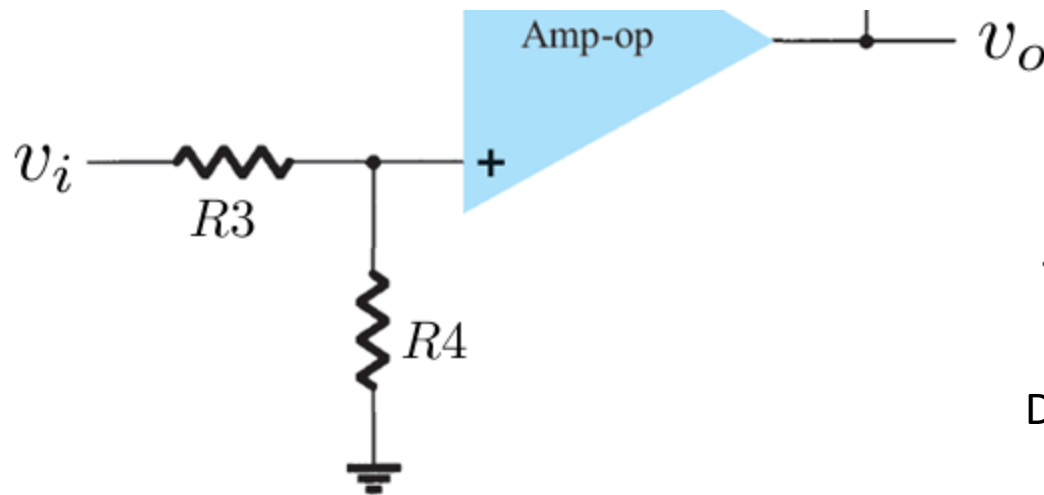
$$\frac{R_4}{R_3 + R_4} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = \frac{R_2}{R_1}$$

Divisor resistivo

Ganho da configuração  
inversora

# Amplificador de diferença

- Atenuando com divisor resistivo:



Ganho da configuração  
não inversora

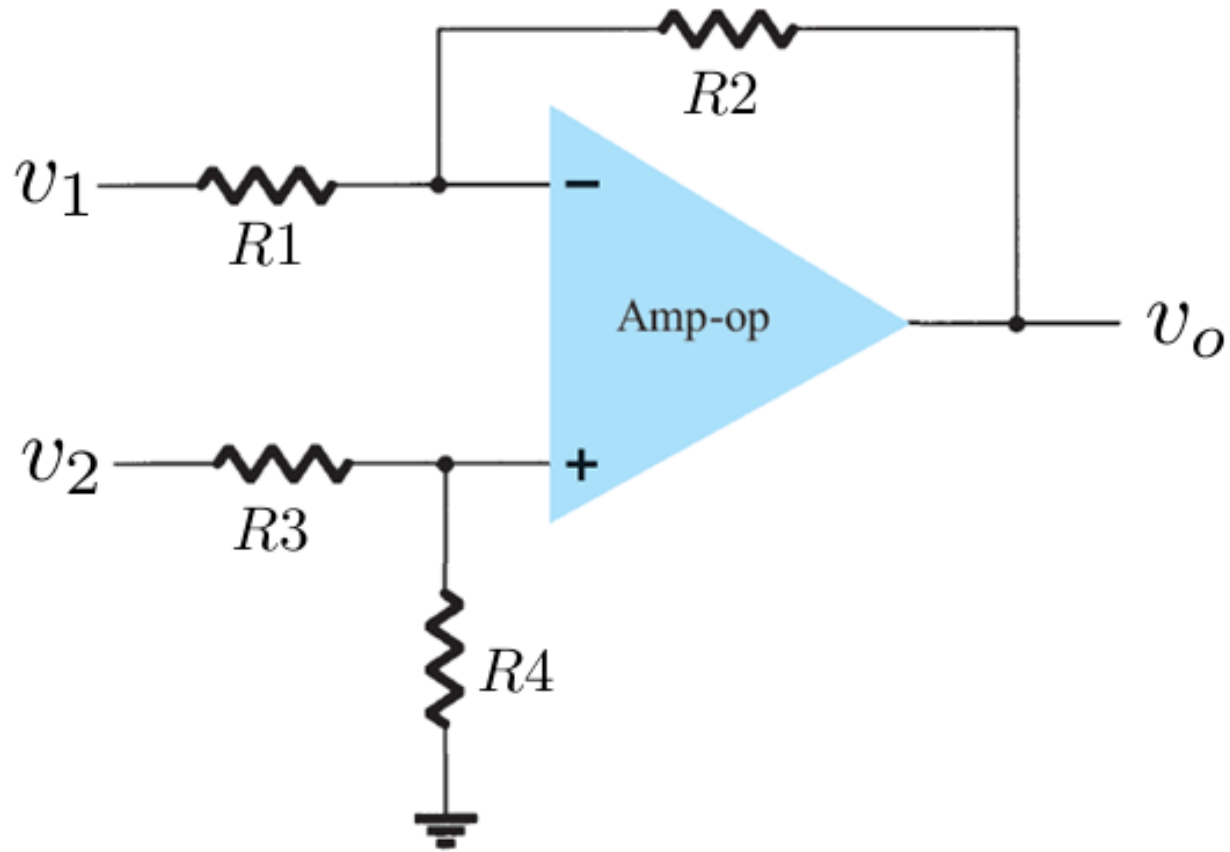
$$\frac{R_4}{R_3 + R_4} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = \frac{R_2}{R_1}$$

Divisor resistivo

Ganho da configuração  
inversora

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

# Amplificador de diferença



$$v_o = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

# Amplificador de diferença

- Vantagem
  - aplica a operação desejada entre os sinais de entrada
- Desvantagens
  - Para ganhos elevados o valor de  $R1$  deve ser diminuído
  - Diminuindo  $R1$ , a impedância de entrada diminui (veremos em Eletrônica B)
  - O ganho é difícil de ser ajustado

# Configurações com AMP-OP

- Solução para as desvantagens: Amplificador de Instrumentação

