



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO  
ELETRÔNICA PARA CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO (ECC0001)  
01/2022

ANNA PAULA MENEGHELLI DE OLIVEIRA  
LÍVIA MAYUMI ALVES

RELATÓRIO DO LABORATÓRIO DE AMPOP - INVERSOR E CONVERSOR D/A

JOINVILLE/SC  
2022/1

## 1. INTRODUÇÃO

Um amplificador operacional, também chamado de AMPOP, é um amplificador diferencial de ganho muito alto. Dependendo da configuração do circuito, ele é capaz de operar como oscilador, gerador de sinal, amplificador, filtro ou comparador de sinal. Por conta de suas diversas possibilidades de operação, sua gama de aplicações é grande. Ele pode atuar em questões como controle de processos, amplificação, regulação de sistemas e entre outros.

O dispositivo é composto por uma entrada inversora (-), uma entrada não inversora (+), duas tensões de alimentação e uma saída, sendo que a saída é uma tensão proporcional à diferença de tensão entre as entradas inversora e não inversora. Para um AMPOP ideal, consideramos que seu ganho de tensão (amplificação) é infinito, que sua impedância de entrada é infinita, e que sua impedância de saída é nula. Nenhum AMPOP real pode atingir essas características, mas essas considerações são extremamente úteis na obtenção das equações sistema.

Das considerações citadas acima, é possível retirar duas conclusões:

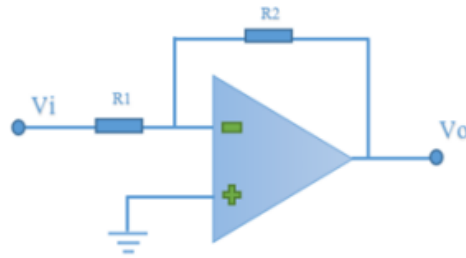
1. Nenhuma corrente irá fluir nas entradas do AMPOP;
2. As tensões de entrada são iguais.

Como esta análise é genérica, ela pode ser aplicada para qualquer circuito composto por AMPOPs. Por conta deste trabalho abordar os circuitos inversor de sinal e conversor de sinal D/A, que são construídos com a utilização de AMPOPs, esta análise será necessária para a interpretação dos circuitos e cálculos realizados.

## 2. PARTE TEÓRICA

### 2.1 CIRCUITO INVERSOR

A tensão de saída de um circuito amplificador inversor, apresentado na figura 1, é obtida pela multiplicação da tensão de entrada por um ganho, definido pelo resistor de entrada ( $R_1$ ) e pelo resistor de realimentação ( $R_f$ ) com saída invertida em relação à entrada.



$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Figura 1: Circuito inversor. Fonte: Roteiro-Relatório da Experiência “AMPOP – inversor e conversor D/A”. Autor: Anelize Zomkowski Salvi.

A dedução da equação que calcula a tensão de saída do circuito inversor pode ser vista na figura 2. De acordo com o AMPOP ideal, as tensões de entrada do dispositivo são iguais. Sendo assim, como a entrada inversora está aterrada, a tensão no ponto A será 0V. Além disso, como a corrente de entrada é nula, apenas duas correntes estão presentes no somatório das correntes do ponto A.

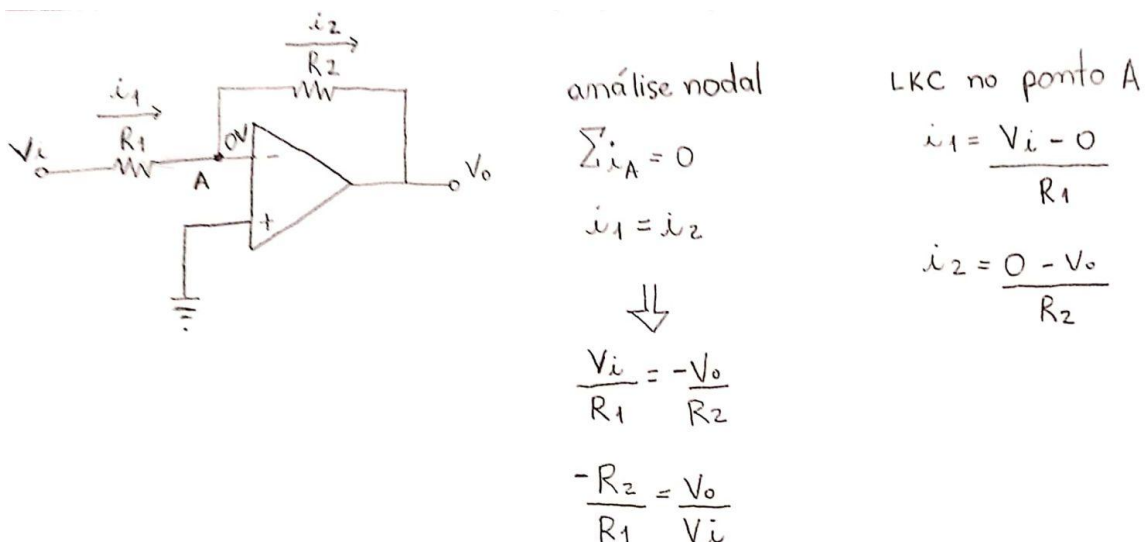


Figura 2: Demonstração da equação da tensão de saída do circuito inversor. Fonte: Autores.

## 2.2 CIRCUITO CONVERSOR

A tensão de saída de um circuito amplificador não inversor é obtida pela multiplicação da tensão de entrada por um ganho, definido pelo resistor de entrada ( $R_1$ ) e pelo resistor de realimentação ( $R_f$ ) com saída em fase em relação à entrada

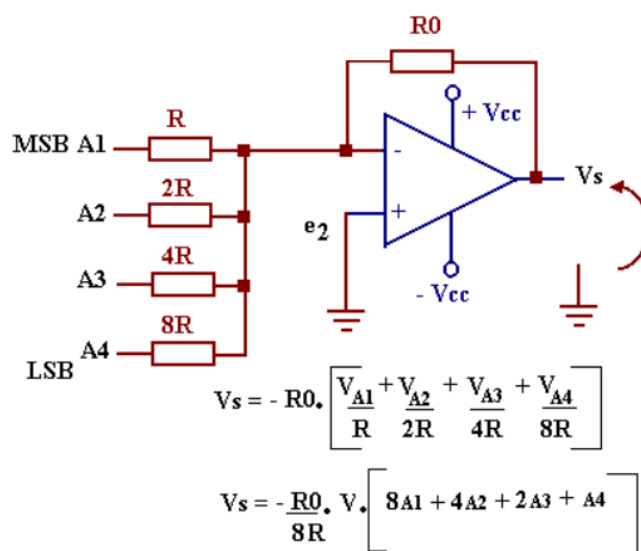


Figura 3: Circuito conversor. Fonte: Roteiro-Relatório da Experiência “AMPOP – inversor e conversor D/A”. Autor: Anelize Zomkowski Salvi.

As deduções das equações do circuito conversor, representado pelo diagrama da figura 3, pode ser visto na figura 4. Assim como no circuito inversor, a tensão no ponto A será 0V. O somatório das correntes, no entanto, envolverá 5 correntes, cada uma relacionada a um resistor.

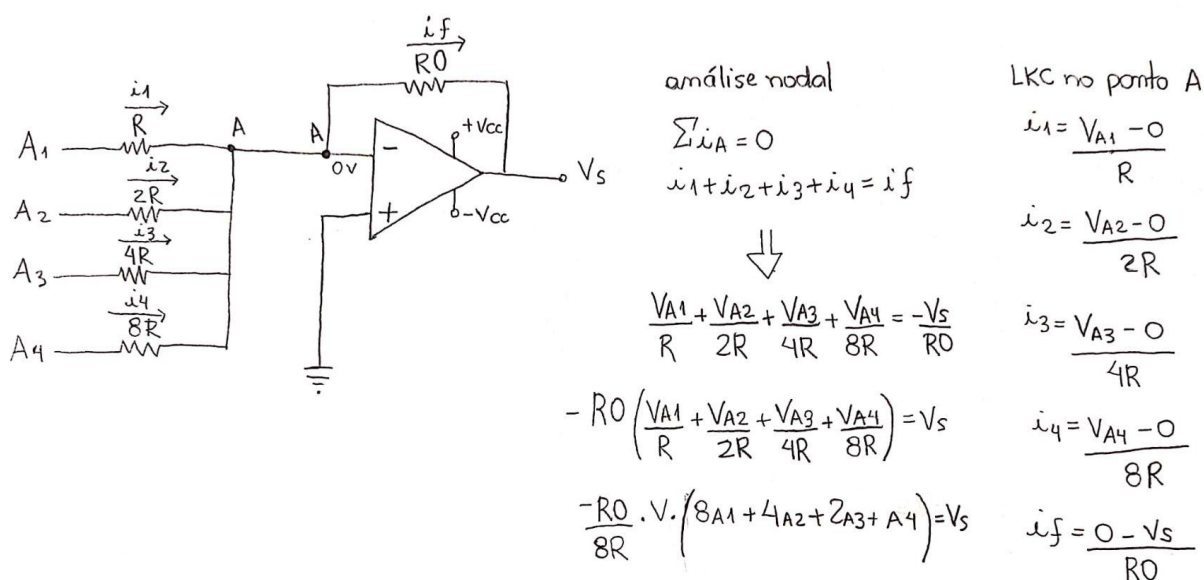


Figura 4: Demonstração da equação da tensão de saída do circuito conversor. Fonte: Autores.

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

#### 3.1 CIRCUITO INVERSOR

O circuito inversor da figura 1 foi reproduzido no software de simulação Tinkercad<sup>1</sup> com os valores de resistência  $R1 = 1k\Omega$  e  $R2 = 2k\Omega$ . Na tabela 2, está o fator de amplificação do circuito para esses valores de resistência, calculado por meio da equação demonstrada na figura 3.

Tabela 1: Fator de amplificação do circuito inversor.

Configuração inversora Figura 1	$A_v = V_o/V_i$
Valor calculado	-2
Valor medido	-2

A figura 5 apresenta uma imagem da simulação do circuito. Como a tensão de entrada de 1V, foi amplificada em -2, a tensão de saída medida foi de -2V.

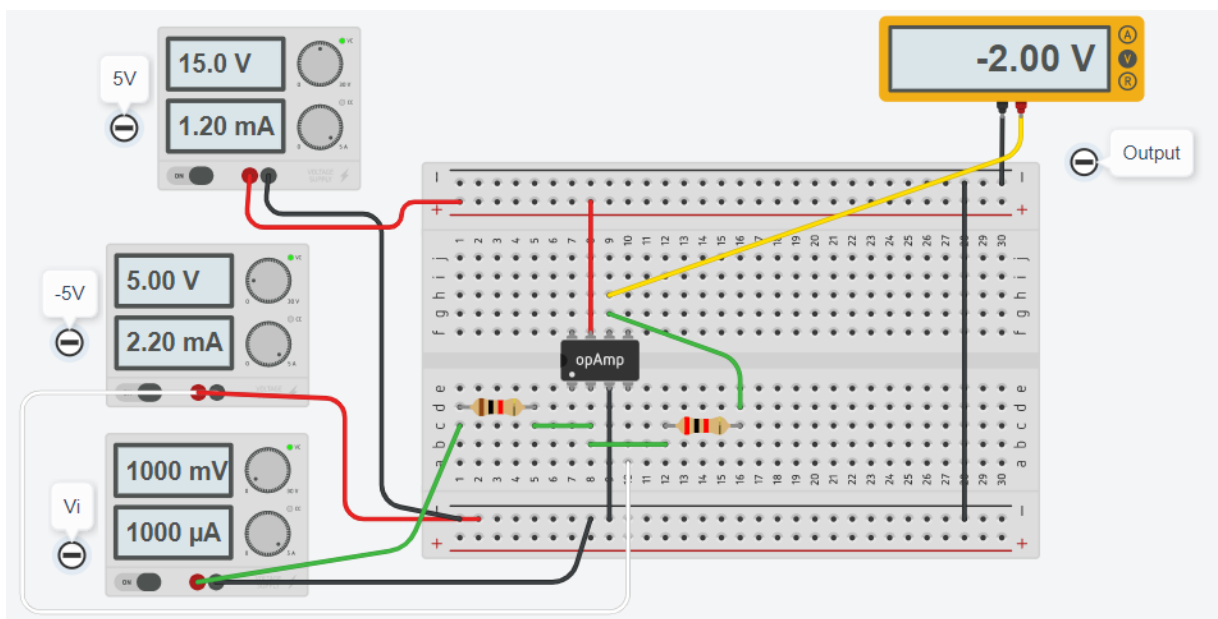


Figura 5: Circuito inversor com tensão de entrada 1V. Fonte: Autores.

A figura 6 apresenta o mesmo circuito da figura 5 porém com uma tensão de entrada de 3V. De acordo com o fator de amplificação, a tensão de saída deveria resultar em -6V, porém a tensão de saída medida foi de -4,80V. Isso ocorre pois a fonte -Vcc alimenta o

circuito com -5V de tensão, o que não é suficiente para produzir a tensão de saída de -6V, então uma tensão menor é observada no voltímetro.

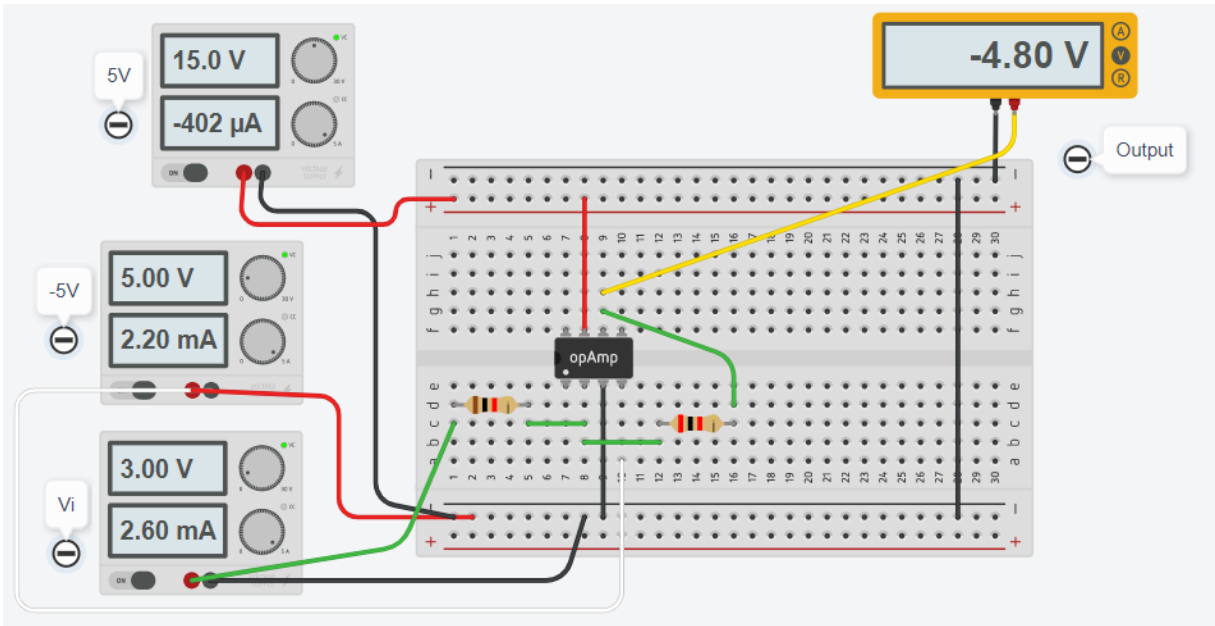


Figura 6: Circuito inversor com tensão de entrada 3V. Fonte: Autores.

### 3.2 CIRCUITO CONVERSOR

Os valores escolhidos para o circuito conversor são apresentados na tabela 2. Para estes valores de resistência e de tensão de entrada, a maior tensão de saída possível é -15V. Sendo assim, os valores de tensão de +Vcc e -Vcc foram escolhidos como 16V e -16V, com uma pequena margem de segurança em relação à tensão de saída que pretende-se observar.

Tabela 2: Tensões e resistências escolhidas para o circuito conversor.

Conversor D/A Figura 2	V	R	Ro	+Vcc	-Vcc
Escolhido	1V	1kΩ	8kΩ	16V	-16V

O circuito conversor da figura 2 foi reproduzido no software de simulação Tinkercad<sup>2</sup> com os valores de tensão e resistência da tabela 2. A figura 7 apresenta uma imagem da simulação. Os *switches*, que não estão presentes no diagrama no circuito, foram colocados para facilitar o ligamento e desligamento da tensão nos resistores 1, 2, 3 e 4.

2

<https://www.tinkercad.com/things/44oycy0WHWS-copy-of-inversor/editel?sharecode=pprB3UHLHvrejH4H6Twv1NV4MGrPk1ZXNe0a4-8sTMY>

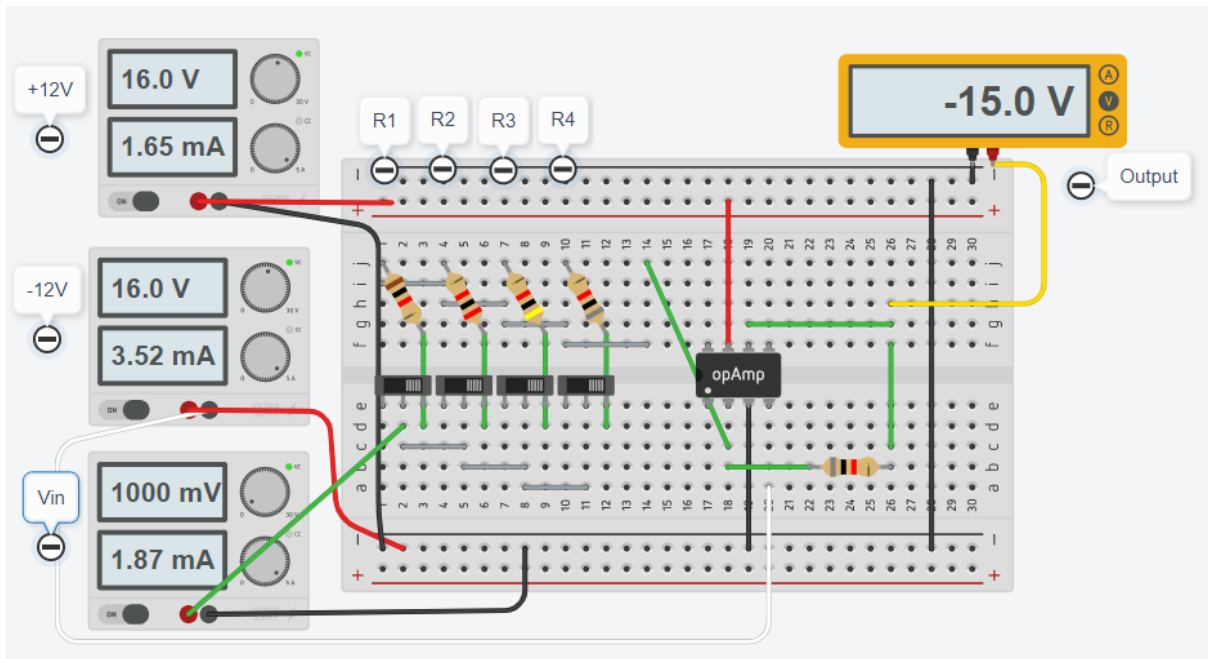


Figura 7: Circuito conversor. Fonte: Autores.

A figura 8 apresenta o comportamento do circuito quando apenas um dos *switches* está ligado. Para facilitar o reconhecimento do circuito, o interruptor ligado está circulado em rosa.

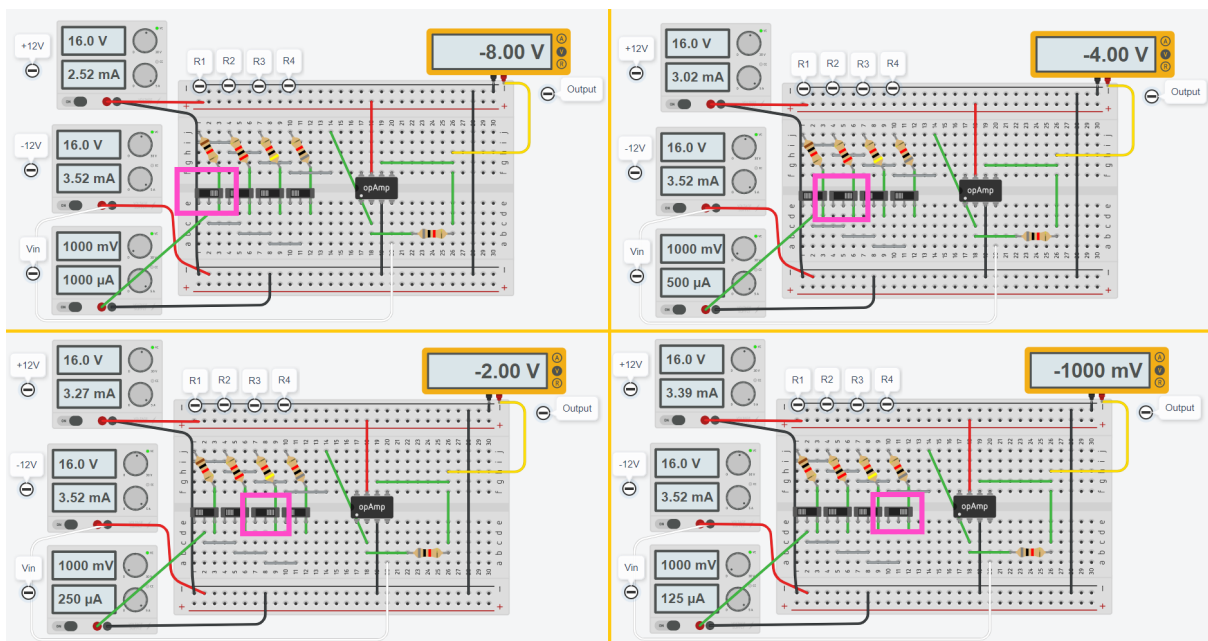


Figura 8: Funcionamento do circuito conversor. Fonte: Autores.

Analisando a figura 8, é possível perceber como cada fonte contribui para a tensão de saída. A fonte 1, conectada ao resistor 1, colabora com 8V de tensão, a fonte 2, conectada ao resistor 2, com 4V de tensão, a fonte 3, conectada ao resistor 3, com 2V de tensão e a fonte 4, conectada ao resistor 4, com 1V de tensão. Sendo assim, quando todas as 4 fontes estão ligadas, a tensão de saída será  $8V + 4V + 2V + 1V = 15V$ , como observado na figura 7.

O cálculo teórico da tensão de saída  $V_s$  pode ser feito substituindo os valores escolhidos na equação demonstrada na figura 4. A figura 9 traz o exemplo de um dos cálculos que foi realizado.

$$\begin{array}{cccc}
 A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\
 0 & 1 & 0 & 1
 \end{array}$$

$$V_s = \frac{-R_0}{8R} \cdot V \cdot (8A_1 + 4A_2 + 2A_3 + 1A_4)$$

$$V_s = \frac{-8}{8 \cdot 1} \cdot 1 \cdot (8 \cdot 0 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 0 + 1 \cdot 1)$$

$$V_s = -1 \cdot 1 \cdot (4 + 1)$$

$$V_s = -5V$$

Figura 9: Cálculo da tensão de saída do circuito conversor. Fonte: Autores.

Percebe-se, tanto pelos cálculos teóricos quanto pela simulação, que ligando e desligando as fontes é possível alterar o valor da tensão de saída. Como há 4 fontes, e cada uma contribui de forma diferente para o sistema, há 16 configurações possíveis. A tabela 3 contém o valor da tensão de saída para todas essas 16 configurações.

Tabela 3: Valores de tensão obtidos no circuito conversor.

Conversor D/A Figura 2					
A1	A2	A3	A4	Vs calculado	Vs medido
0	0	0	0	0V	0V
0	0	0	1	-1V	-1000mV
0	0	1	0	-2V	-2V
0	0	1	1	-3V	-3V
0	1	0	0	-4V	-4V
0	1	0	1	-5V	-5V
0	1	1	0	-6V	-6V
0	1	1	1	-7V	-7V
1	0	0	0	-8V	-8V
1	0	0	1	-9V	-9V
1	0	1	0	-10V	-10V



1	0	1	1	-11V	-11V
1	1	0	0	-12V	-12V
1	1	0	1	-13V	-13V
1	1	1	0	-14V	-14V
1	1	1	1	-15V	-15V

Percebe-se que os valores de tensão dispostos na tabela 3 são a representação perfeita do número binário formado pelas tensões de entrada. Por exemplo, o número binário 0000 (0) é o número decimal 0, e o número binário 0010 (10) é o número decimal 2, assim como na tabela.

#### **4. CONCLUSÃO**

As análises teóricas e cálculos realizados permitiram a interpretação e simulação de dois circuitos compostos por AMPOPs, um que opera como um inversor de tensão e outro que opera como um conversor de sinal digital para analógico. No caso do circuito inversor, foi possível entender como se dá a inversão e amplificação da tensão de entrada no circuito, e aplicar esse entendimento na simulação. No caso do circuito conversor, foi possível encontrar valores para as tensões de entrada e para as resistências que permitiram converter de forma precisa o sinal digital (binário) em um sinal analógico (decimal).