



Licenciatura Ciências de Computação Licenciatura Eng^a. Física

2021/22

A.J.Proença

Tema

Introdução aos Sistemas de Computação



Estrutura do tema ISC

1. Representação de informação num computador
2. Organização e estrutura interna dum computador
3. Execução de programas num computador
4. Análise das instruções de um processador
5. Evolução da tecnologia e da eficiência

Noção de computador (1)



Um computador é um sistema físico que:

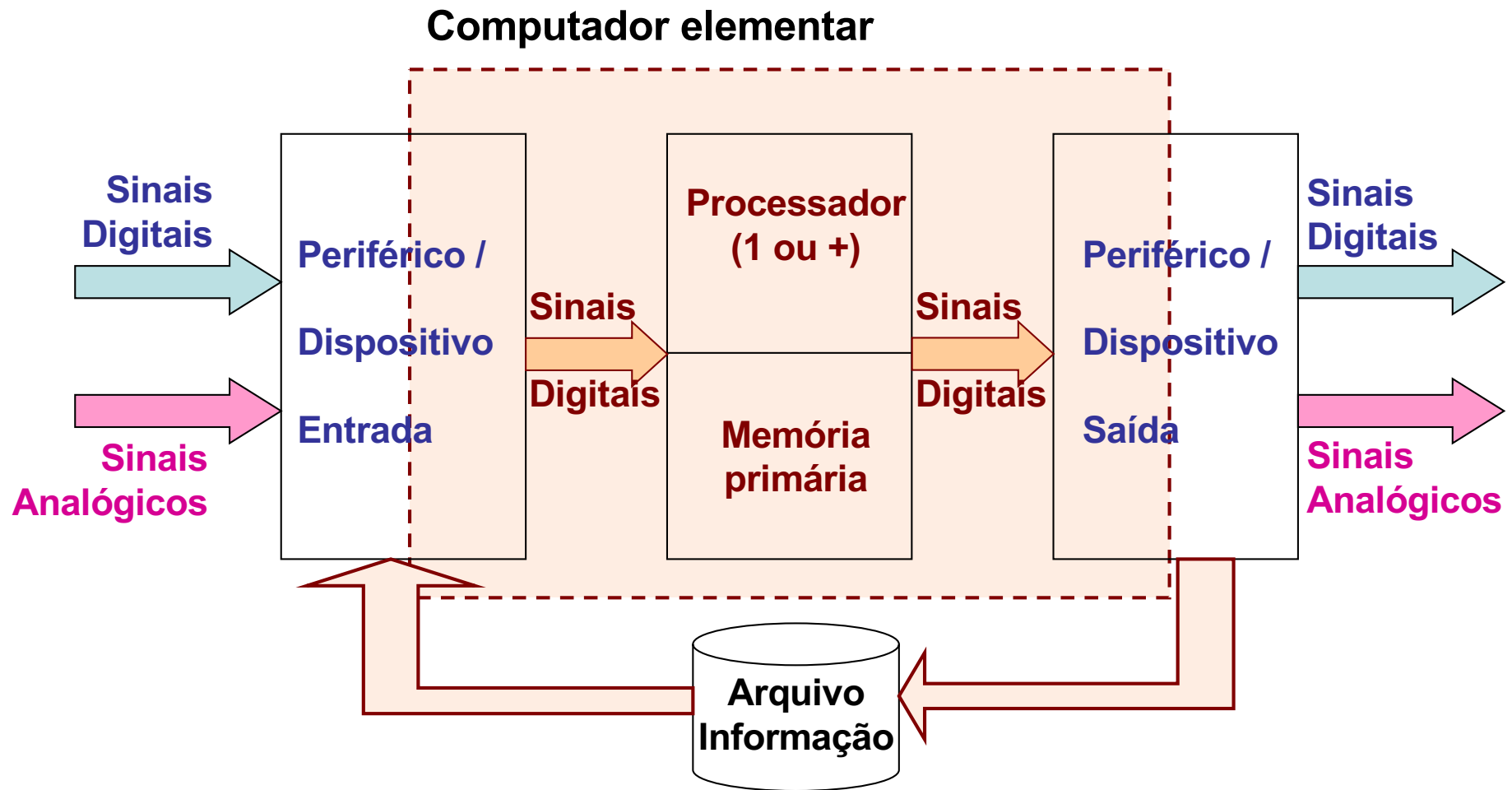
- recebe informação,
processa / arquiva informação,
transmite informação, e ...
- é programável
i.e., a funcionalidade do sistema pode ser modificada,
sem alterar fisicamente o sistema

Quando a funcionalidade é fixada no fabrico do sistema onde o computador se integra, diz-se que o computador existente nesse sistema está “embebido”: ex. *smart phone*, máq. fotográfica, automóvel, ...

Como se representa a informação num computador ?

Como se processa a informação num computador ?

Noção de computador (2)





- **Como se representa a informação num computador ?**
 - representação da informação num computador ->
- **Como se processa a informação num computador ?**
 - organização e funcionamento de um computador ->

Representação da informação num computador (1)



Como se representa a informação? – com binary digits!



Artigo Discussão

Algarismo

Um **algarismo** ou **dígito**, é um tipo de representação (um símbolo numérico, como "2" ou "5") usado em combinações (como "25") para representar **números** (como o número 25) em **sistemas de numeração posicionais**. O nome "dígito" vem do facto de os 9 dígitos (do **latim** *digitem*, "dedo") das mãos corresponderem aos 10 símbolos do sistema de numeração comum de **base 10**, isto é, o decimal (digestivo do latim antigo *decoração* . que significa nove) dígitos.

A palavra "algarismo" tem sua origem no nome do famoso matemático **Al-Khwarizmi**.

Mais:

- Cada um dos elementos de um numeral é um algarismo ou dígito:
 - Numeral com 3 dígitos: 426.
 - Numeral com 10 algarismos: 1.234.567.890
- • Dígitos **Binários**: podem ser apenas dois, o 0 (zero) e o 1 (um)

Representação da informação num computador (2)



Como se representa a informação?

- com binary digits!

Tipos de informação a representar:

- números (para cálculo)
 - » bases de numeração, inteiros (positivos e negativos)
 - » reais (*fp*), norma IEEE 754
- textos (caracteres alfanuméricos)
- conteúdos multimédia
- código para execução no computador

Sistemas de numeração: quanto vale na base 10 um n° representado numa base qualquer



1532.54₁₀ (base 10) ; quanto vale cada algarismo?

$$1*10^3 + 5*10^2 + 3*10^1 + 2*10^0 + 5*10^{-1} + 4*10^{-2} = 1532.54_{10}$$

Nota: a potência de 10 dá-nos a ordem do algarismo no número...

1532₆ (base 6) ; quanto vale cada algarismo na base 10?

$$1*6^3 + 5*6^2 + 3*6^1 + 2*6^0 = 416_{10}$$

1532₁₃ (base 13) ; quanto vale cada algarismo na base 10?

$$1*13^3 + 5*13^2 + 3*13^1 + 2*13^0 = 3083_{10}$$

110110.011₂ (base 2) ; quanto vale cada algarismo na base 10?

$$1*2^5 + 1*2^4 + 0*2^3 + 1*2^2 + 1*2^1 + 0*2^0 + 0*2^{-1} + 1*2^{-2} + 1*2^{-3} = 54.375_{10}$$

Sistemas de numeração: como se passa um n° na base 10 para uma outra base



1532.54₁₀ (base 10) ; algoritmo para extrair os algarismos?

- parte inteira: divisão sucessiva pela base e...
- parte decimal: multiplicação sucessiva pela base e...

416₁₀ ; quanto vale cada algarismo na base 6?

- parte inteira ... parte decimal ...

3083₁₀ ; quanto vale cada algarismo na base 13?

- parte inteira ... parte decimal ...

54.375₁₀; quanto vale cada algarismo na base 2?

- parte inteira ... parte decimal ...

Sistemas de numeração: como se passa um n° na base 10 para uma outra base



1532.54₁₀ (base 10) ; algoritmo para extrair os algarismos?

- parte inteira: divisão sucessiva pela base e...
- parte decimal: multiplicação sucessiva pela base e...

$$\begin{array}{r} 1532 \quad | \quad 10 \\ \underline{1530} \\ 2 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 153 \quad | \quad 10 \\ \underline{150} \\ 3 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 15 \quad | \quad 10 \\ \underline{10} \\ 5 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 1 \quad | \quad 10 \\ \underline{10} \\ 0 \end{array}$$

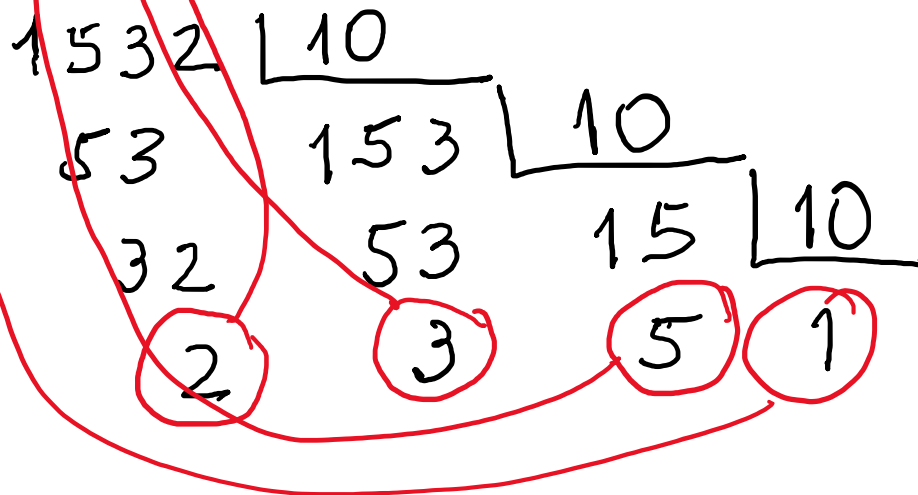
2

Sistemas de numeração: como se passa um n° na base 10 para uma outra base



1532.54₁₀ (base 10) ; algoritmo para extrair os algarismos?

- parte inteira: divisão sucessiva pela base e...
- parte decimal: multiplicação sucessiva pela base e...



Sistemas de numeração: como se passa um n° na base 10 para uma outra base



1532.54₁₀ (base 10) ; algoritmo para extrair os algarismos?

- parte inteira: divisão sucessiva pela base e...
- parte decimal: multiplicação sucessiva pela base e...

$$\begin{array}{r} 1532 \overline{) 10} \\ 53 \\ 32 \\ \underline{2} \end{array} \quad \begin{array}{r} 153 \overline{) 10} \\ 53 \\ \underline{3} \end{array} \quad \begin{array}{r} 15 \overline{) 10} \\ \underline{5} \\ 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0.54 \\ \times 10 \\ \hline 5.40 \end{array}$$

Sistemas de numeração :
como se passa um n° na base 10 para uma outra base



1532.54₁₀ (base 10) ; algoritmo para extrair os algarismos?

- parte inteira: divisão sucessiva pela base e...
- parte decimal: multiplicação sucessiva pela base e...

$$\begin{array}{r} 1532 \overline{) 10} \\ 53 \overline{) 153} \\ 32 \overline{) 153} \\ \underline{2} \\ 3 \\ \underline{3} \\ 5 \\ \underline{5} \\ 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0.54 \\ \times 10 \\ \hline 5.40 \\ \times 10 \\ \hline 54.00 \end{array}$$

Sistemas de numeração: como se passa um n° na base 10 para uma outra base



1532₆ (base 6) ; quanto vale cada algarismo na base 10?
 $1 \cdot 6^3 + 5 \cdot 6^2 + 3 \cdot 6^1 + 2 \cdot 6^0 = 416_{10}$

416₁₀ ; quanto vale cada algarismo na base 6?
• parte inteira ... parte decimal ...

4 1 6 1 6

Sistemas de numeração: como se passa um n° na base 10 para uma outra base

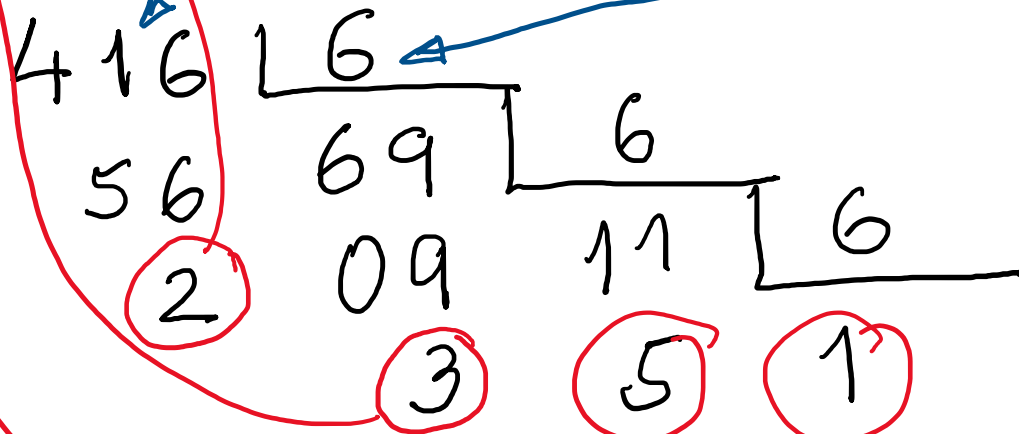


1532₆ (base 6) ; quanto vale cada algarismo na base 10?

$$1 \cdot 6^3 + 5 \cdot 6^2 + 3 \cdot 6^1 + 2 \cdot 6^0 = 416_{10}$$

416₁₀ ; quanto vale cada algarismo na base 6?

- parte inteira ... parte decimal ...



Sistemas de numeração: como se passa um n° na base 10 para uma outra base



110110.011₂ (base 2) ; quanto vale cada algarismo na base 10?

$$1*2^5 + 1*2^4 + 0*2^3 + 1*2^2 + 1*2^1 + 0*2^0 + 0*2^{-1} + 1*2^{-2} + 1*2^{-3} = 54.375_{10}$$

54.375₁₀; quanto vale cada algarismo na base 2?

- parte inteira ... parte decimal ...

Handwritten conversion of 54.375 from base 10 to base 2 using the division-by-2 method. The remainders are circled in red and connected by red arrows to the original number's digits:

Quotient	Remainder
54	0
27	1
13	1
6	0
3	1
1	1

Sistemas de numeração: como se passa um n° na base 10 para uma outra base

110110.011₂ (base 2) ; quanto vale cada algarismo na base 10?
 $1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3} =$
 54.375_{10}

54.375₁₀; quanto vale cada algarismo na base 2?
• parte inteira ... parte decimal ...

Handwritten conversion process for 54.375 from base 10 to base 2:

Integer part (54):

$$\begin{array}{r} 54 \div 2 = 27 \text{ r } 0 \\ 27 \div 2 = 13 \text{ r } 1 \\ 13 \div 2 = 6 \text{ r } 1 \\ 6 \div 2 = 3 \text{ r } 0 \\ 3 \div 2 = 1 \text{ r } 1 \\ 1 \div 2 = 0 \text{ r } 1 \end{array}$$

Fractional part (0.375):

$$\begin{array}{r} 0.375 \times 2 = 0.750 \\ 0.750 \times 2 = 1.500 \\ 1.500 \times 2 = 3.000 \end{array}$$

Final binary representation: **110110.011₂**

Sistemas de numeração: caso particular da base 2



110110.011₂ (base 2) ; quanto vale cada algarismo na base 10?

$$1*2^5 + 1*2^4 + 0*2^3 + 1*2^2 + 1*2^1 + 0*2^0 + 0*2^{-1} + 1*2^{-2} + 1*2^{-3} = \dots$$

Para simplificar:

- eliminar os produtos, ignorar parcelas com produtos por 0

$$\bullet \text{ } 1*2^5 + 1*2^4 + 0*2^3 + 1*2^2 + 1*2^1 + 0*2^0 + 0*2^{-1} + 1*2^{-2} + 1*2^{-3} = \dots$$

$$\Rightarrow 2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^1 + 1/2^2 + 1/2^3 = \dots$$

Recomendações:

- decorar a tabuada das potências de 2 (**$2^0 + 2^{10}$**) $\longrightarrow$
- compreender as potências de 2 múltiplas de 10 $\longrightarrow$

Numeração de base 2: dicas para uma rápida conversão de potências de 2 para a base 10



$$2^0 = 1$$

$$2^1 = 2$$

$$2^2 = 4$$

$$2^3 = 8$$

$$2^4 = 16$$

$$2^5 = 32$$

$$2^6 = 64$$

$$2^7 = 128$$

$$2^8 = 256$$

$$2^9 = 512$$

$$2^{10} = 1024$$

$$2^{10} = 1024 = 1 \text{ Ki}(\text{bi}) \approx 1000 = 10^3 = 1 \text{ K}(\text{ilo})$$

...

$$2^{12} = 2^2 * 2^{10} = 4 \text{ Ki}(\text{bi}) \approx 4000 = 4 * 10^3 = 4 \text{ K}$$

...

$$2^{16} = 2^6 * 2^{10} = 64 \text{ Ki}(\text{bi}) \approx 64 * 10^3 = 64 \text{ K}$$

$$2^{20} = 1 \text{ Me}(\text{bi}) \approx 1000000 = 10^6 = 1 \text{ M}(\text{ega})$$

$$2^{30} = 1 \text{ Gi}(\text{bi}) \approx 1000000000 = 10^9 = 1 \text{ G}(\text{iga})$$

$$2^{40} = 1 \text{ Te}(\text{bi}) \approx 10^{12} = 1 \text{ T}(\text{era})$$

$$2^{50} = 1 \text{ Pe}(\text{bi}) \approx 10^{15} = 1 \text{ P}(\text{eta})$$

Vantagens destas dicas



- Na conversão de binário para base 10:

110110.011₂ (base 2)

$$\Rightarrow 2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^1 + 1/2^2 + 1/2^3 =$$

$$= 32 + 16 + 4 + 2 + 1/4 + 1/8 = 54 + 0.375$$

- Na conversão de base 10 para binário:

$$290 = 256 +$$
$$256 - \cancel{512} \quad 2^8$$

Vantagens destas dicas



- Na conversão de binário para base 10:

110110.011₂ (base 2)

$$\Rightarrow 2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^1 + 1/2^2 + 1/2^3 =$$

$$= 32 + 16 + 4 + 2 + 1/4 + 1/8 = 54 + 0.375$$

- Na conversão de base 10 para binário:

$$\begin{array}{r} 290 = 256 + 32 + 2 \\ \quad \quad 2^8 \quad \quad 2^5 \quad \quad 2^1 \\ -256 \\ \hline 34 \\ -32 \\ \hline 2 \end{array}$$

Vantagens destas dicas



- Na conversão de binário para base 10:

110110.011₂ (base 2)

$$\Rightarrow 2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^1 + 1/2^2 + 1/2^3 =$$

$$= 32 + 16 + 4 + 2 + 1/4 + 1/8 = 54 + 0.375$$

- Na conversão de base 10 para binário:

$$\begin{array}{r} 290 = 256 + 32 + 2 \\ \hline -256 \\ \hline 34 \\ \hline -32 \\ \hline 2 \end{array}$$

Handwritten binary representation of 290:

$$\begin{array}{ccccccc} & 2^8 & & 2^5 & & & 2^1 \\ & \swarrow & & \swarrow & & & \downarrow \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0_2 \end{array}$$

Sistemas de numeração: caso particular da base 16 (hexadecimal)



- Dígitos na base 16:
 $0, 1, 2, \dots, 9, \overset{10}{a}, \overset{11}{b}, \overset{12}{c}, \overset{13}{d}, \overset{14}{e}, \overset{15}{f}$
- Vantagens sobre um valor de 32 bits:
 $10100110100001110110010111010100_2$ VS. $a68765d4_{16}$
- Facilidade de conversão:
$$\begin{array}{cccccccc} 1010 & 0110 & 1000 & 0111 & 0110 & 0101 & 1101 & 0100_2 \\ a & 6 & 8 & 7 & 6 & 5 & d & 4_{16} \end{array}$$

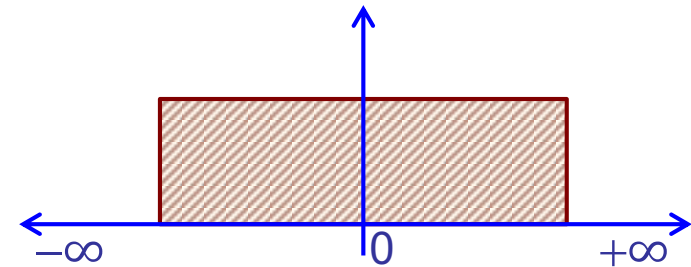
←
- Mesmo com ponto decimal:
$$\begin{array}{cccccccc} 1010011010000111011001011101.01_2 & \longleftarrow & \longrightarrow \\ 1010 & 0110 & 1000 & 0111 & 0110 & 0101 & 1101.0100_2 & \longleftarrow & \longrightarrow \\ a & 6 & 8 & 7 & 6 & 5 & d & . & 4_{16} \end{array}$$

Representação de inteiros



Gama de valores representáveis

- ideal: todos os valores e simetria em relação ao 0
- mas ...
- e quantos bits para representar um inteiro?



Representação de positivos & negativos

- estratégias
- análise dum exemplo com todos os valores possíveis
 - S+M: Sinal + Magnitude/amplitude
 - Complemento para 1
 - Complemento para 2
 - Notação por excesso

Inteiros positivos e negativos: o universo com 3 bits (1)



Base 10	Base 2	S+M	Comp 1	Comp 2	Excesso
0	000				
1	001				
2	010				
3	011				
4	100				
5	101				
6	110				
7	111				

Inteiros positivos e negativos: o universo com 3 bits (2)



Base 10	Base 2	S+M	Comp 1	Comp 2	Excesso
0	000	+			
1	001	+			
2	010	+			
3	011	+			
4	100	-			
5	101	-			
6	110	-			
7	111	-			

Inteiros positivos e negativos: o universo com 3 bits (3)



Base 10	Base 2	S+M	Comp 1	Comp 2	Excesso
0	000	+0			
1	001	+1			
2	010	+2			
3	011	+3			
4	100	-0			
5	101	-1			
6	110	-2			
7	111	-3			

Inteiros positivos e negativos: o universo com 3 bits (4)



Base 10	Base 2	S+M	Comp 1	Comp 2	Excesso
0	000		+0		
1	001		+1		
2	010		+2		
3	011		+3		
4	100		-11 ₂ > -3		
5	101				
6	110				
7	111				

Inteiros positivos e negativos: o universo com 3 bits (5)



Base 10	Base 2	S+M	Comp 1	Comp 2	Excesso
0	000		+0		
1	001		+1		
2	010		+2		
3	011		+3		
4	100		$-11_2 \rightarrow -3$		
5	101		$-10_2 \rightarrow -2$		
6	110		$-01_2 \rightarrow -1$		
7	111		$-00_2 \rightarrow -0$		

Inteiros positivos e negativos: o universo com 3 bits (6)



Base 10	Base 2	S+M	Comp 1	Comp 2	Excesso
0	000		+0	+0	
1	001		+1	+1	
2	010		+2	+2	
3	011		+3	+3	
4	100		$-11_2 \rightarrow -3$	$-(11+1)_2 \rightarrow -4$	
5	101		$-10_2 \rightarrow -2$		
6	110		$-01_2 \rightarrow -1$		
7	111		$-00_2 \rightarrow -0$		

Inteiros positivos e negativos: o universo com 3 bits (7)



Base 10	Base 2	S+M	Comp 1	Comp 2	Excesso
0	000		+0	+0	
1	001		+1	+1	
2	010		+2	+2	
3	011		+3	+3	
4	100		$-11_2 \rangle -3$	$-(11+1)_2 \rangle -4$	
5	101		$-10_2 \rangle -2$	$-(10+1)_2 \rangle -3$	
6	110		$-01_2 \rangle -1$	$-(01+1)_2 \rangle -2$	
7	111		$-00_2 \rangle -0$	$-(00+1)_2 \rangle -1$	

Vantagem da representação em complemento para 2: mesmo hardware para soma de inteiros com ou sem sinal (1)



base 2

Base 2	Base 10
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

Handwritten calculations in base 2:

$$\begin{array}{r} 001 \\ + 101 \\ \hline 110 \end{array}$$

Handwritten calculations in base 10:

$$\begin{array}{r} 1 \\ + 5 \\ \hline 6 \end{array}$$

Arrows indicate the mapping from binary to decimal and the addition of 5 to the binary value 110 to get 6 in decimal.

Comp 2	Base 2
+0	000
+1	001
+2	010
+3	011
-(11+1) ₂ -4	100
-(10+1) ₂ -3	101
-(01+1) ₂ -2	110
-(00+1) ₂ -1	111

Vantagem da representação em complemento para 2: mesmo hardware para soma de inteiros com ou sem sinal (2)

base 2

Base 2	Base 10
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

Comp 2	Base 2
+0	000
+1	001
+2	010
+3	011
-(11+1) ₂ -4	100
-(10+1) ₂ -3	101
-(01+1) ₂ -2	110
-(00+1) ₂ -1	111

Handwritten calculations:

Base 10 to Base 2: $6_{10} = 110_2$

Base 2 to 2's Complement: $110_2 + 1 = 111_2$

Vantagem da representação em complemento para 2: mesmo hardware para soma de inteiros com ou sem sinal (3)

Base 2	Base 10			Comp 2	Base 2
000	0			+0	000
001	1			+1	001
010	2			+2	010
011	3			+3	011
100	4			$-(11+1)_2$ -4	100
101	5			$-(10+1)_2$ -3	101
110	6			$-(01+1)_2$ -2	110
111	7			$-(00+1)_2$ -1	111

base 2

1 001 1

+5 +101 +(-3)

6 110 -2

mesmo somador em binário!