

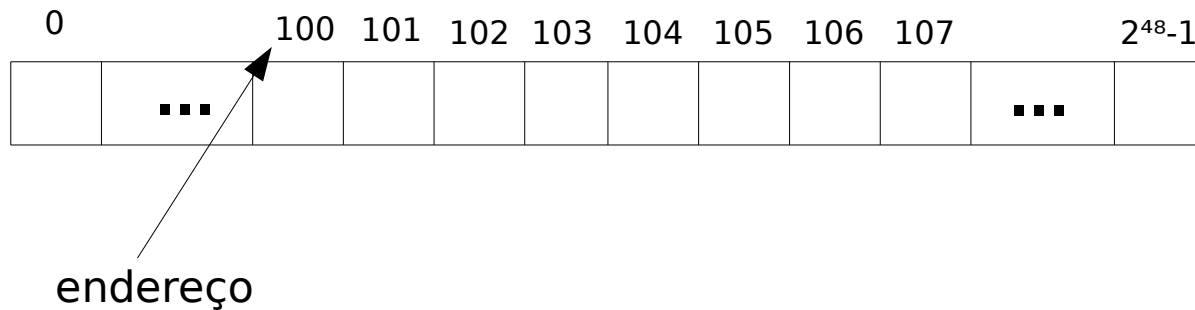
Representação de Dados (inteiros não negativos)

Noemi Rodriguez
Ana Lúcia de Moura
Raúl Renteria
Alexandre Meslin

<http://www.inf.puc-rio.br/~inf1018>

Memória

Pode ser vista como um *array* de bytes, identificados por seus "índices" (**endereços**)

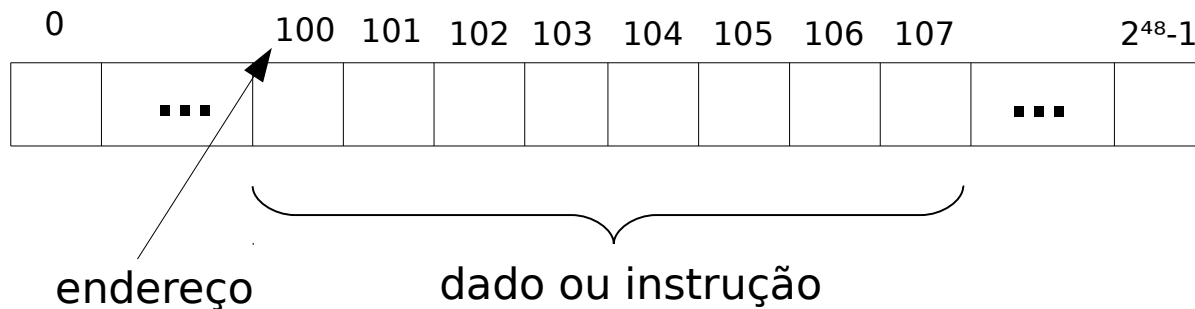


Memória

Pode ser vista como um *array* de bytes, identificados por seus "índices" (**endereços**)

Armazena dados e instruções

- dados ocupam um número de bytes que depende de seu tipo
- instruções ocupam um número variável de bytes



Representação da Informação

Computadores armazenam "sinais" de dois valores: 0 e 1

- binary digits ou "bits"

Agrupando sequências de bits podemos representar valores numéricos

- representação em notação posicional (base 2)

Representação da Informação

Computadores armazenam "sinais" de dois valores: 0 e 1

- binary digits ou "bits"

Agrupando sequências de bits podemos representar valores numéricos

- representação em notação posicional (base 2)

01111101



125₁₀

00000011000011100000110010100000



51252384₁₀

Notação Posicional

A base determina o número de dígitos

- sistema decimal: base 10 e dígitos de 0 a 9

Multiplicamos o "valor" de cada dígito pela base elevada à posição deste dígito e somamos os produtos

Notação Posicional

A base determina o número de dígitos

- sistema decimal: base 10 e dígitos de 0 a 9

Multiplicamos o "valor" de cada dígito pela base elevada à posição deste dígito e somamos os produtos

$$\begin{array}{cccc} 3 & 2 & 1 & 0 \\ \hline 1 & 2 & 3 & 4 \\ & & & 10 \end{array}$$

Notação Posicional

A base determina o número de dígitos

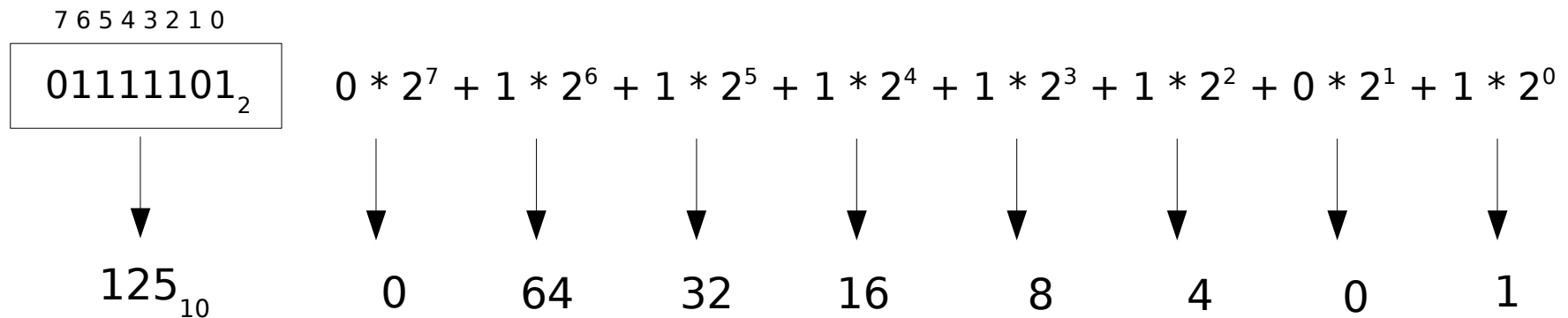
- sistema decimal: base 10 e dígitos de 0 a 9

Multiplicamos o "valor" de cada dígito pela base elevada à posição deste dígito e somamos os produtos

$$\begin{array}{cccc} & 3 & 2 & 1 & 0 \\ \hline \boxed{1234}_{10} & \longrightarrow & 1 * 10^3 & + 2 * 10^2 & + 3 * 10^1 & + 4 * 10^0 \\ & & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ & & 1000 & 200 & 30 & 4 \end{array}$$

Notação Binária

Base 2, dígitos 0 e 1



Notação Hexadecimal

Base 16, dígitos de 0 a 9 e letras de A a F

	3	2	1	0	
	2ABC ₁₆				
	↓	↓	↓	↓	↓
	10940 ₁₀	8192	2560	176	12

$$2 * 16^3 + 10 * 16^2 + 11 * 16^1 + 12 * 16^0$$

Notação Hexadecimal

Base 16, dígitos de 0 a 9 e letras de A a F

	3	2	1	0	
	2ABC ₁₆				
	↓	↓	↓	↓	↓
	10940 ₁₀	8192	2560	176	12

$$2 * 16^3 + 10 * 16^2 + 11 * 16^1 + 12 * 16^0$$

Notações decimal e binária são inconvenientes para descrever padrões de bits e representar endereços

Em C (e *assembly*) constantes que começam com **0x** estão em notação hexadecimal: **0x10**, **0xFF**, **0x55aa**

Conversão Binário X Hexadecimal

Hexa para binário: "expandimos" cada dígito hexadecimal:

hexa 3 A 4 C

Hex Decimal
 Binário

0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Conversão Binário X Hexadecimal

Hexa para binário: "expandimos" cada dígito hexadecimal:

hexa	3	A	4	C
binário	0011			

Hex Decimal
 Binário

0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Conversão Binário X Hexadecimal

Hexa para binário: "expandimos" cada dígito hexadecimal:

hexa	3	A	4	C
binário	0011	1010		

Hex Decimal
 Binário

0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Conversão Binário X Hexadecimal

Hexa para binário: "expandimos" cada dígito hexadecimal:

hexa	3	A	4	C
binário	0011	1010	0100	

Hex
Decimal
Binário

0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Conversão Binário X Hexadecimal

Hexa para binário: "expandimos" cada dígito hexadecimal:

hexa	3	A	4	C
binário	0011	1010	0100	1100

Hex Decimal
 Binário

0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Conversão Binário X Hexadecimal

Hexa para binário: "expandimos" cada dígito hexadecimal:

hexa	3	A	4	C
binário	0011	1010	0100	1100

Binário para hexa: substituímos cada grupo de 4 bits pelo dígito hexadecimal equivalente:

binário	(00)11	1100	1010	1101
---------	--------	------	------	------

Hex
Decimal
Binário

0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Conversão Binário X Hexadecimal

Hexa para binário: "expandimos" cada dígito hexadecimal:

hexa	3	A	4	C
binário	0011	1010	0100	1100

Binário para hexa: substituímos cada grupo de 4 bits pelo dígito hexadecimal equivalente:

binário	(00)11	1100	1010	1101
hexa	3			

Hex
Decimal
Binário

0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Conversão Binário X Hexadecimal

Hexa para binário: "expandimos" cada dígito hexadecimal:

hexa	3	A	4	C
binário	0011	1010	0100	1100

Binário para hexa: substituímos cada grupo de 4 bits pelo dígito hexadecimal equivalente:

binário	(00)11	1100	1010	1101
hexa	3	C		

Hex
Decimal
Binário

0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Conversão Binário X Hexadecimal

Hexa para binário: "expandimos" cada dígito hexadecimal:

hexa	3	A	4	C
binário	0011	1010	0100	1100

Binário para hexa: substituímos cada grupo de 4 bits pelo dígito hexadecimal equivalente:

binário	(00)11	1100	1010	1101
hexa	3	C	A	

Hex
Decimal
Binário

0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Conversão Binário X Hexadecimal

Hexa para binário: "expandimos" cada dígito hexadecimal:

hexa	3	A	4	C
binário	0011	1010	0100	1100

Binário para hexa: substituímos cada grupo de 4 bits pelo dígito hexadecimal equivalente:

binário	(00)11	1100	1010	1101
hexa	3	C	A	D

Hex
Decimal
Binário

0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Decimal para Binário

Divisões sucessivas por 2 (base)

relação com a notação posicional: "parcelas" são multiplicações de 0 ou 1 (restos) pela base elevada à posição

11_{10}

$$\begin{array}{r|l} 11 & 2 \\ \hline 1 & 5 \end{array}$$

Decimal para Binário

Divisões sucessivas por 2 (base)

relação com a notação posicional: "parcelas" são multiplicações de 0 ou 1 (restos) pela base elevada à posição

$$11_{10} = 5 * 2^1 + \textcircled{1} * 2^0$$

$$\begin{array}{r|l} 11 & 2 \\ \hline & 5 \\ & 1 \end{array}$$



Decimal para Binário

Divisões sucessivas por 2 (base)

relação com a notação posicional: "parcelas" são multiplicações de 0 ou 1 (restos) pela base elevada à posição

$$11_{10} = 5 * 2^1 + 1 * 2^0$$

$$\begin{array}{r|l} 11 & 2 \\ \hline 1 & 5 \\ \hline & 1 \\ & 2 \end{array}$$

Decimal para Binário

Divisões sucessivas por 2 (base)

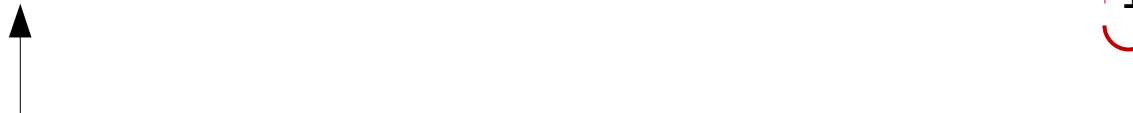
relação com a notação posicional: "parcelas" são multiplicações de 0 ou 1 (restos) pela base elevada à posição

$$11_{10} = 5 * 2^1 + 1 * 2^0$$

$$5_{10} = 2 * 2^1 + \textcircled{1} * 2^0$$

11	2		
1	5	2	
1	1	2	

(Red arcs are drawn under the 1 in the first column and the 1 in the second column.)



Decimal para Binário

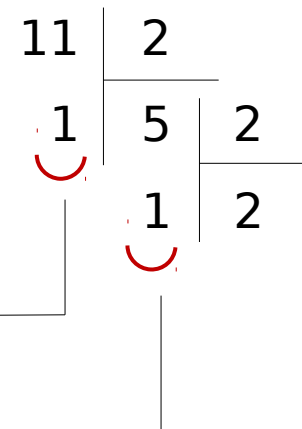
Divisões sucessivas por 2 (base)

relação com a notação posicional: "parcelas" são multiplicações de 0 ou 1 (restos) pela base elevada à posição

$$11_{10} = 5 * 2^1 + 1 * 2^0$$

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

$$11_{10} = (2*2^1+1*2^0)*2^1+1*2^0 = 2*2^2 + 1*2^1 + 1*2^0$$



Decimal para Binário

Divisões sucessivas por 2 (base)

relação com a notação posicional: "parcelas" são multiplicações de 0 ou 1 (restos) pela base elevada à posição

$$11_{10} = 5 * 2^1 + 1 * 2^0$$

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

$$11_{10} = (2*2^1+1*2^0)*2^1+1*2^0 = 2*2^2 + 1*2^1 + 1*2^0$$

11	2		
1	5	2	
	1	2	2
	0		1

Decimal para Binário

Divisões sucessivas por 2 (base)

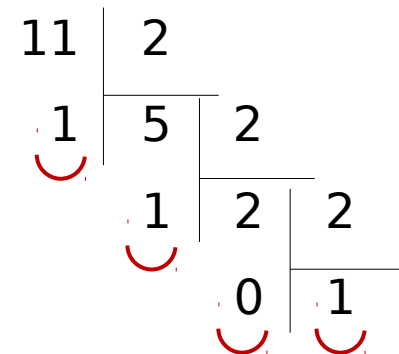
relação com a notação posicional: "parcelas" são multiplicações de 0 ou 1 (restos) pela base elevada à posição

$$11_{10} = 5 * 2^1 + 1 * 2^0$$

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

$$11_{10} = (2*2^1+1*2^0)*2^1+1*2^0 = 2*2^2 + 1*2^1 + 1*2^0$$

$$2_{10} = 1 * 2^1 + 0 * 2^0$$



Decimal para Binário

Divisões sucessivas por 2 (base)

relação com a notação posicional: "parcelas" são multiplicações de 0 ou 1 (restos) pela base elevada à posição

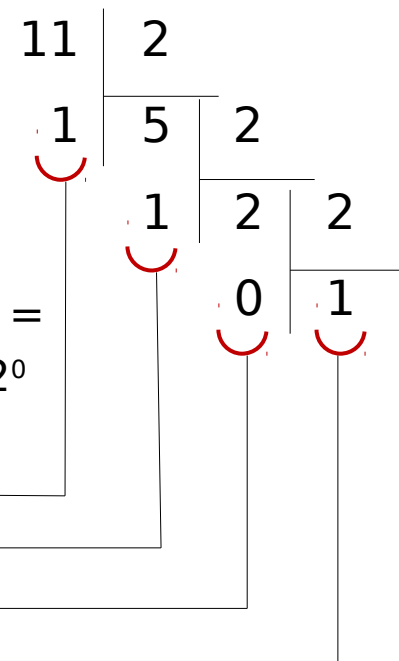
$$11_{10} = 5 * 2^1 + 1 * 2^0$$

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

$$2_{10} = 1 * 2^1 + 0 * 2^0$$

$$11_{10} = (2*2^1+1*2^0)*2^1+1*2^0 = 2*2^2 + 1*2^1 + 1*2^0$$

$$11_{10} = (1*2^1+0*2^0)*2^2+1*2^1+1*2^0 = 1*2^3 + 0*2^2 + 1*2^1 + 1*2^0$$



Decimal para Binário

Divisões sucessivas por 2 (base)

relação com a notação posicional: "parcelas" são multiplicações de 0 ou 1 (restos) pela base elevada à posição

$$11_{10} = 5 * 2^1 + 1 * 2^0$$

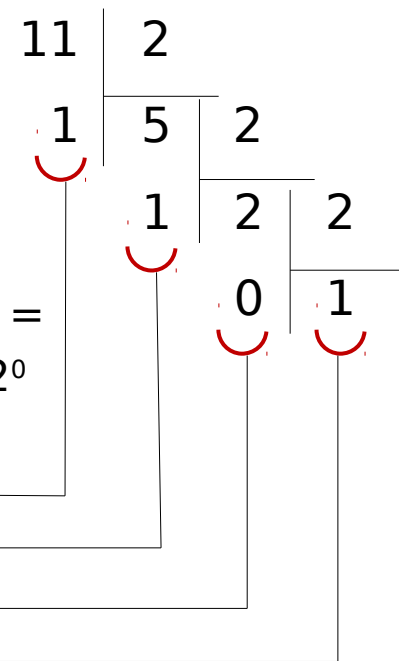
$$5_{10} = 2 * 2^1 + 1 * 2^0$$

$$2_{10} = 1 * 2^1 + 0 * 2^0$$

$$11_{10} = (2*2^1+1*2^0)*2^1+1*2^0 = 2*2^2 + 1*2^1 + 1*2^0$$

$$11_{10} = (1*2^1+0*2^0)*2^2+1*2^1+1*2^0 = 1*2^3 + 0*2^2 + 1*2^1 + 1*2^0$$

1011₂



Decimal para Hexadecimal

Divisões sucessivas por 16 (base)

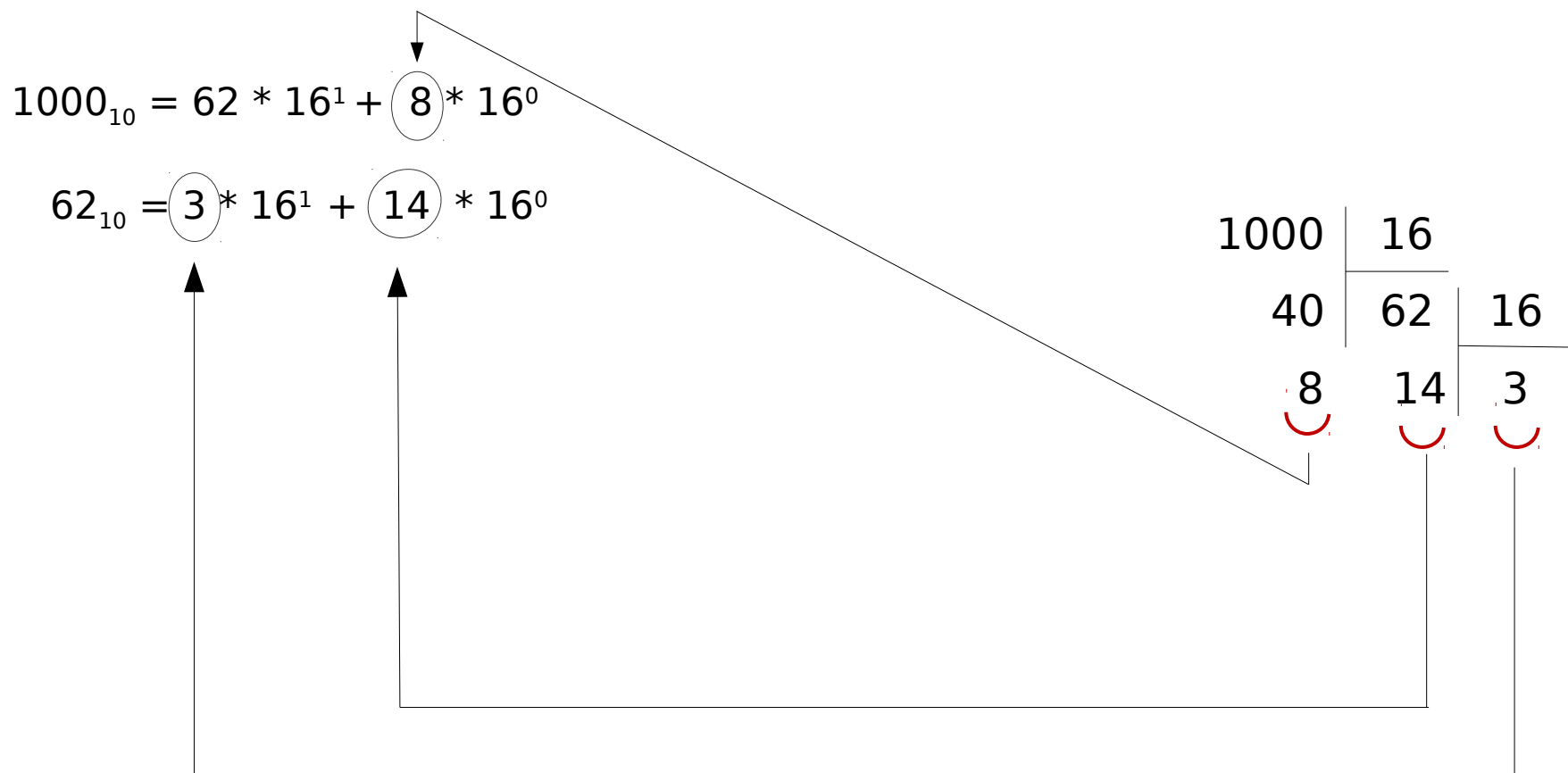
1000_{10}

$$\begin{array}{r|l} 1000 & 16 \\ \hline 40 & 62 & 16 \\ \hline 8 & 14 & 3 \\ \hline \end{array}$$

(Note: Red arcs are drawn under the numbers 8, 14, and 3 in the original image.)

Decimal para Hexadecimal

Divisões sucessivas por 16 (base)



Decimal para Hexadecimal

Divisões sucessivas por 16 (base)

$$1000_{10} = 62 * 16^1 + 8 * 16^0$$

$$62_{10} = 3 * 16^1 + 14 * 16^0$$

$$\begin{aligned} 1000_{10} &= (3 * 16^1 + 14 * 16^0) * 16^1 + 8 * 16^0 \\ &= 3 * 16^2 + 14 * 16^1 + 8 * 16^0 \end{aligned}$$

1000		16		
40		62		16
8		14		3



Decimal para Hexadecimal

Divisões sucessivas por 16 (base)

$$1000_{10} = 62 * 16^1 + 8 * 16^0$$

$$62_{10} = 3 * 16^1 + 14 * 16^0$$

$$\begin{aligned} 1000_{10} &= (3 * 16^1 + 14 * 16^0) * 16^1 + 8 * 16^0 \\ &= 3 * 16^2 + 14 * 16^1 + 8 * 16^0 \end{aligned}$$

1000		16		
40		62		16
8		14		3

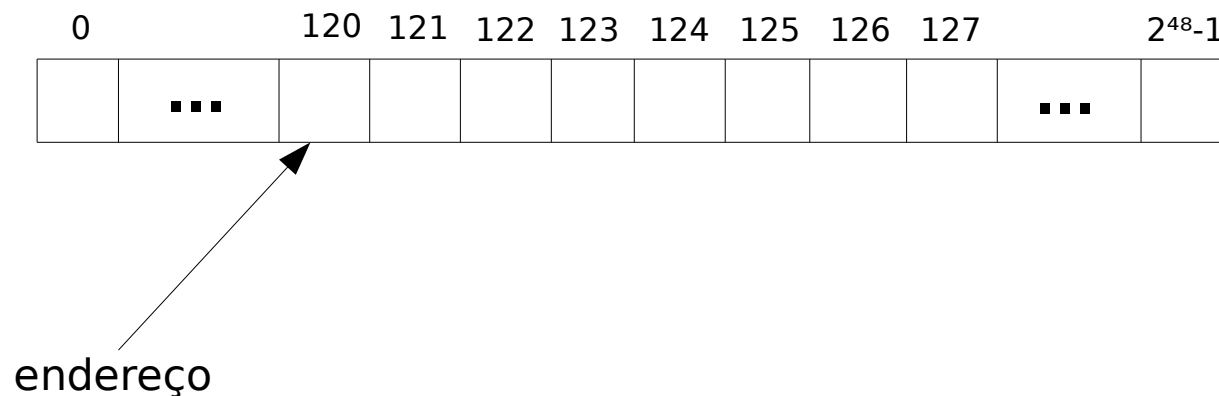
3E8₁₆

E

Palavras (words)

Cada computador tem seu **tamanho de palavra**

- número de bits transferidos em um *chunk* entre memória e CPU
- número de bits de endereços (tamanho de um ponteiro)

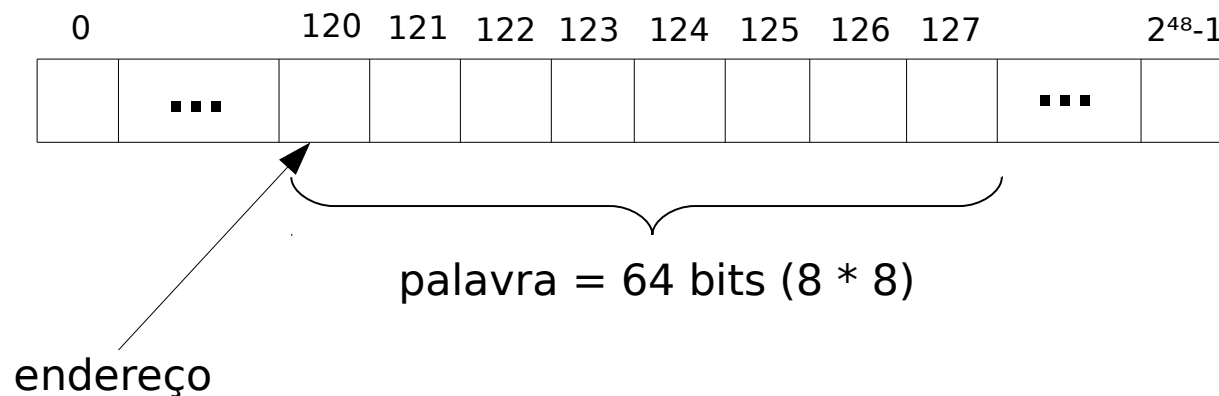


Palavras (words)

Cada computador tem seu **tamanho de palavra**

- número de bits transferidos em um *chunk* entre memória e CPU
- número de bits de endereços (tamanho de um ponteiro)

Trabalharemos com uma plataforma de **64 bits (8 bytes)**



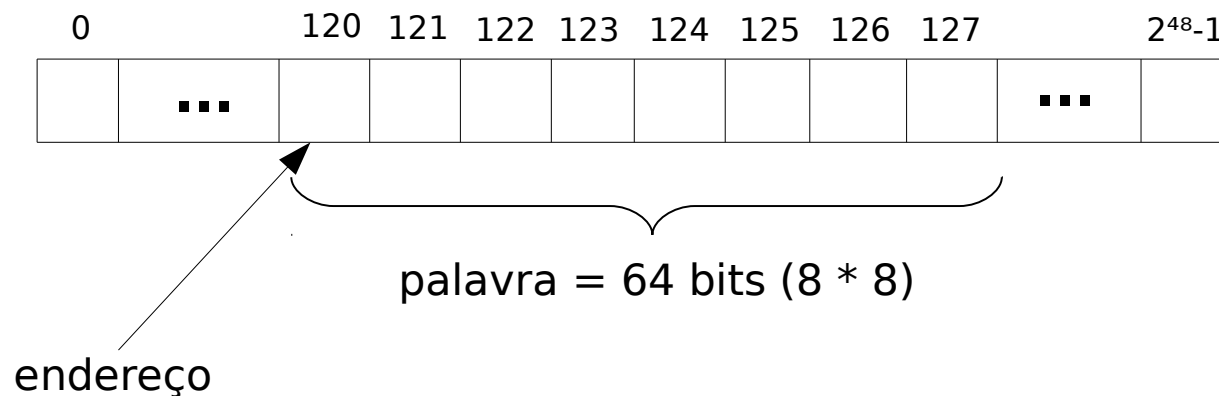
Palavras (words)

Cada computador tem seu **tamanho de palavra**

- número de bits transferidos em um *chunk* entre memória e CPU
- número de bits de endereços (tamanho de um ponteiro)

Trabalharemos com uma plataforma de **64 bits** (8 bytes)

Alguns tipos de dados podem ocupar apenas parte de uma palavra, mas sempre **um número inteiro de bytes**



Tamanhos de Tipos Numéricos de C

O tamanho de cada tipo depende da máquina e do compilador

sizeof(T): número de bytes usado pelo tipo T

inteiros sem sinal (**unsigned**): ocupam o mesmo tamanho que os tipos com sinal, mas representam um intervalo diferente de valores

Tipo C	32-bit	64-bit
char	1	1
short int (short)	2	2
int	4	4
long int (long)	4	8
(T *)	4	8

Intervalos de Valores

Valores inteiros em diferentes tamanhos (número de bytes)

- com 1 byte (8 bits) podemos representar inteiros de 0 a 255 (2^8-1)
- com 2 bytes (16 bits), de 0 a 65535 ($2^{16}-1$)
- com 4 bytes (32 bits), de 0 a 4294967295 ($2^{32}-1$)
- com 8 bytes (64 bits), de 0 a $2^{64}-1$

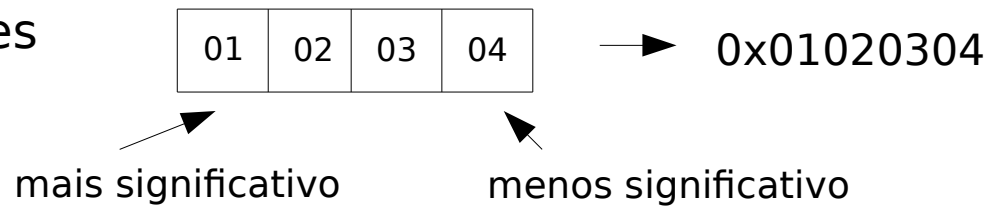
A mesma limitação vale para endereços

- com 4 bytes podemos endereçar 4GB de memória
- com 8 bytes podemos endereçar (teoricamente) 2^{64} bytes

Ordenação de Bytes

Dados representados na memória como **sequência de bytes**

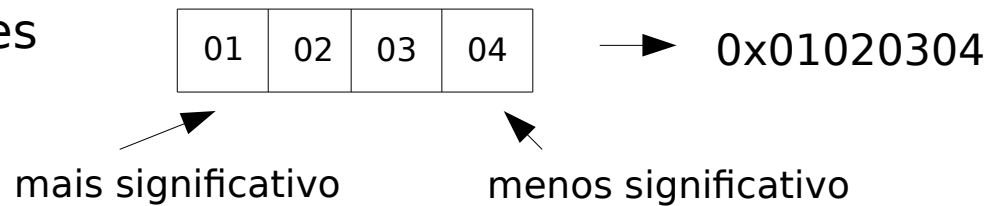
inteiro (32 bits): 4 bytes



Ordenação de Bytes

Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes

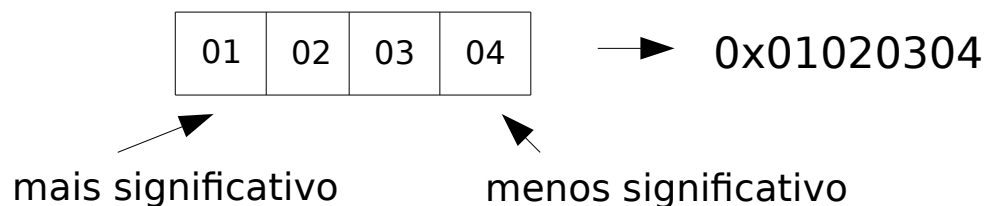


Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

Ordenação de Bytes

Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes



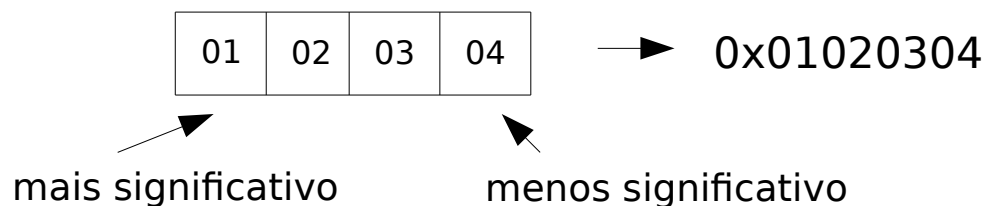
Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

- Big Endian (PowerPC, MIPS): do byte mais significativo para o menos significativo
- Little Endian (Intel): do byte menos significativo para o mais significativo

Ordenação de Bytes

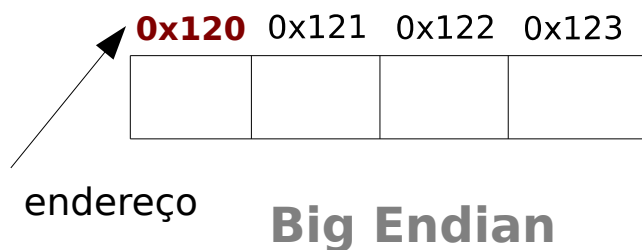
Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes



Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

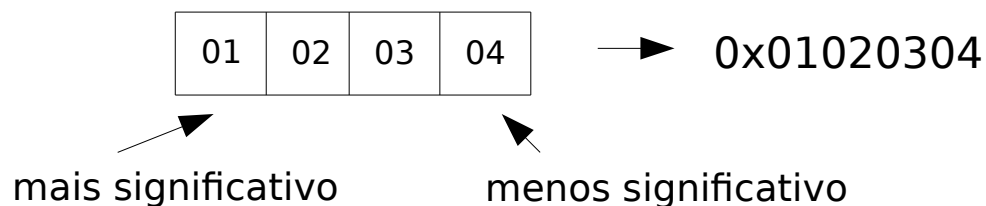
- Big Endian (PowerPC): do byte mais significativo para o menos significativo
- Little Endian (Intel): do byte menos significativo para o mais significativo



Ordenação de Bytes

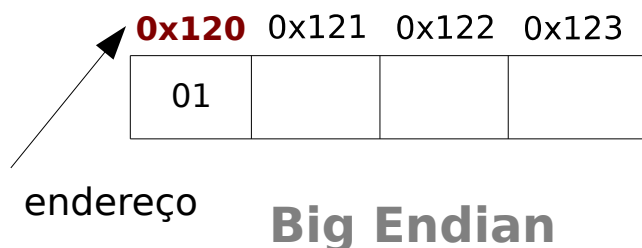
Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes



Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

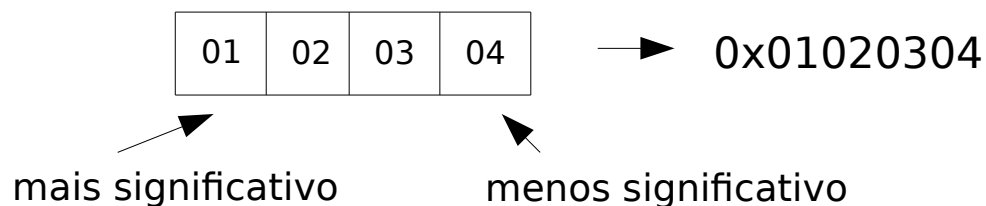
- Big Endian (PowerPC): do byte mais significativo para o menos significativo
- Little Endian (Intel): do byte menos significativo para o mais significativo



Ordenação de Bytes

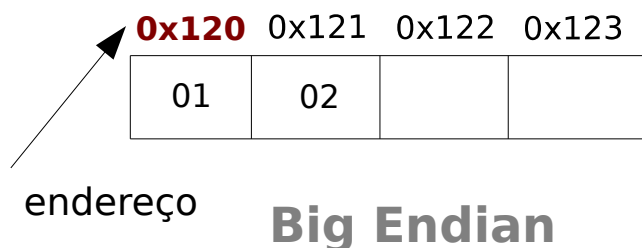
Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes



Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

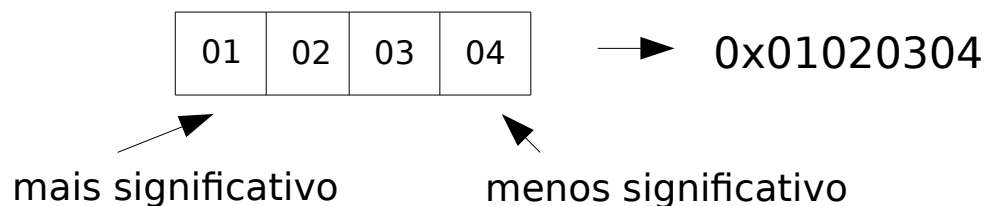
- Big Endian (PowerPC): do byte mais significativo para o menos significativo
- Little Endian (Intel): do byte menos significativo para o mais significativo



Ordenação de Bytes

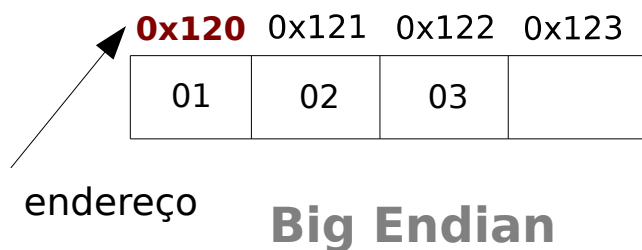
Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes



Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

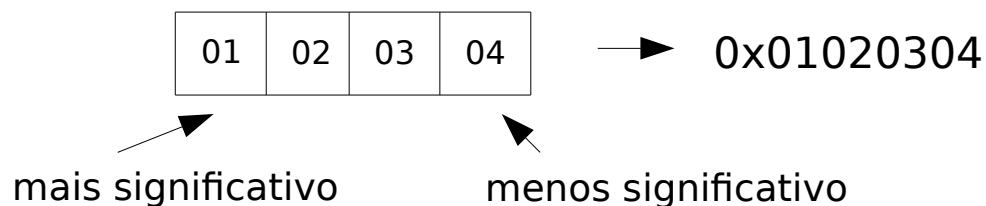
- Big Endian (PowerPC): do byte mais significativo para o menos significativo
- Little Endian (Intel): do byte menos significativo para o mais significativo



Ordenação de Bytes

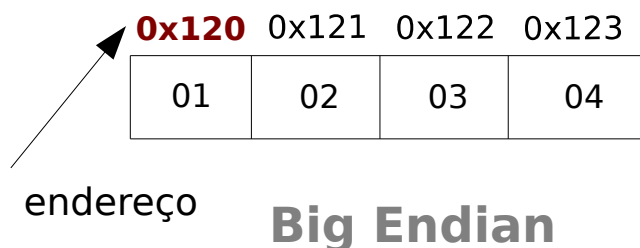
Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes



Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

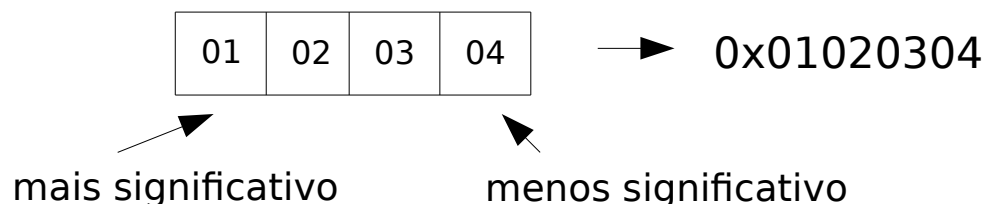
- Big Endian (PowerPC): do byte mais significativo para o menos significativo
- Little Endian (Intel): do byte menos significativo para o mais significativo



Ordenação de Bytes

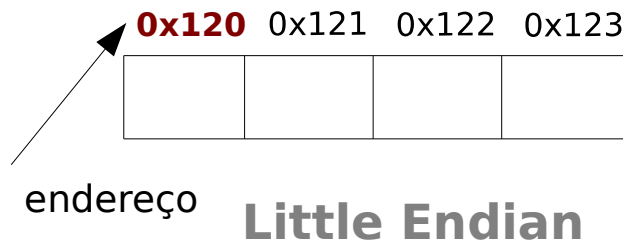
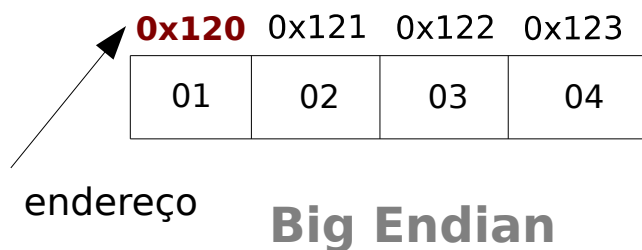
Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes



Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

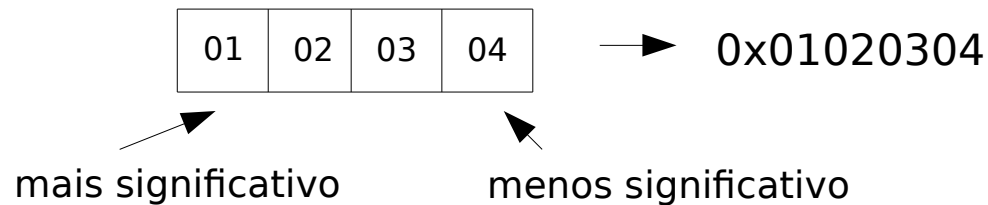
- Big Endian (PowerPC): do byte mais significativo para o menos significativo
- Little Endian (Intel): do byte menos significativo para o mais significativo



Ordenação de Bytes

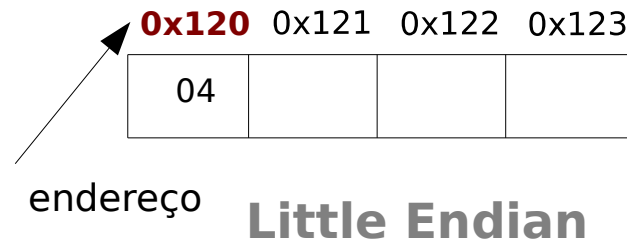
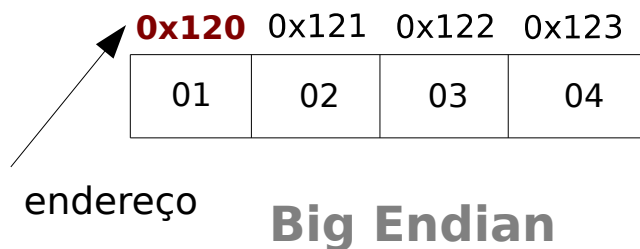
Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes



Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

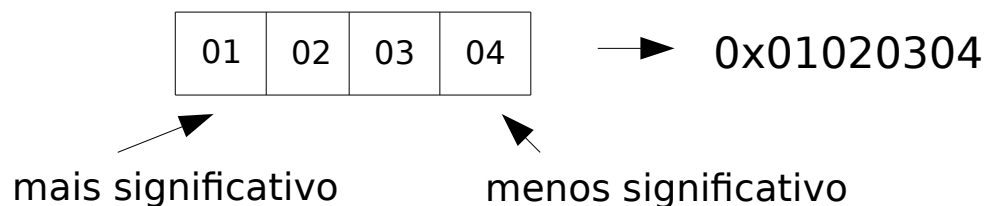
- Big Endian (PowerPC): do byte mais significativo para o menos significativo
- Little Endian (Intel): do byte menos significativo para o mais significativo



Ordenação de Bytes

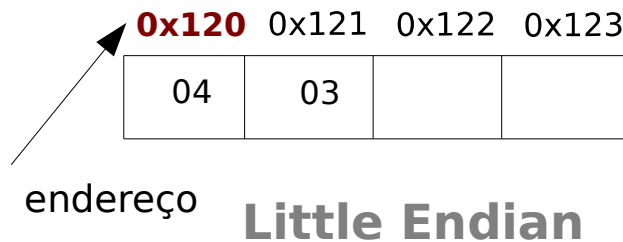
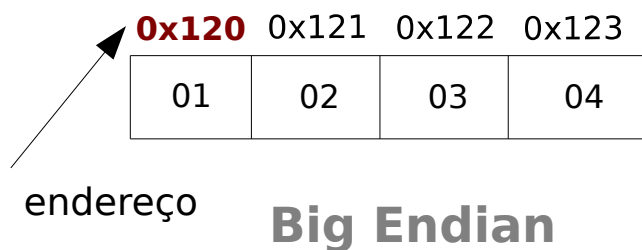
Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes



Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

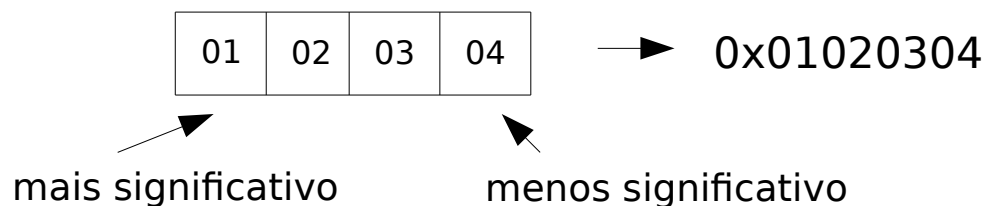
- Big Endian (PowerPC): do byte mais significativo para o menos significativo
- Little Endian (Intel): do byte menos significativo para o mais significativo



Ordenação de Bytes

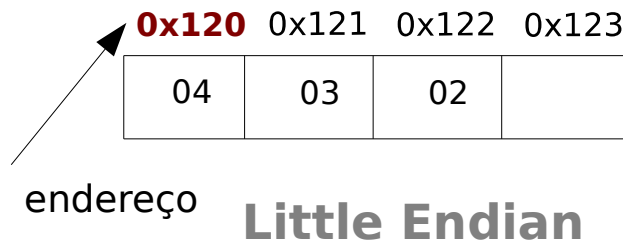
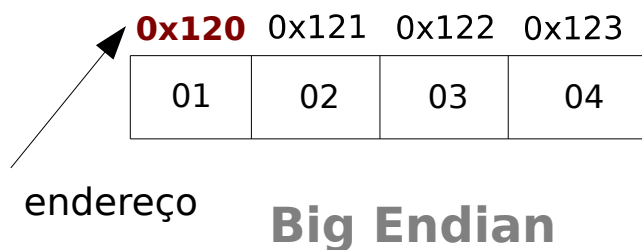
Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes



Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

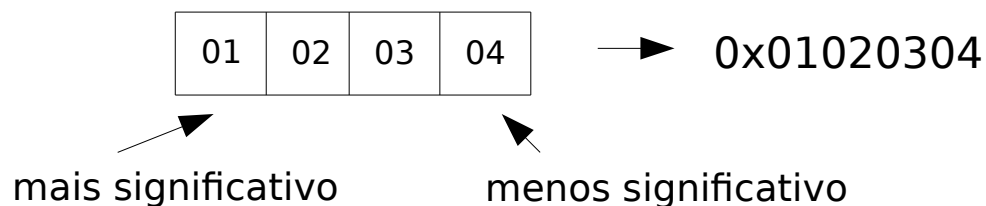
- Big Endian (PowerPC): do byte mais significativo para o menos significativo
- Little Endian (Intel): do byte menos significativo para o mais significativo



Ordenação de Bytes

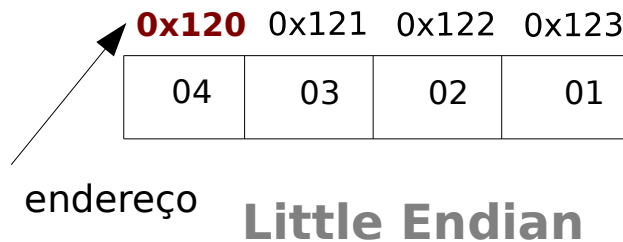
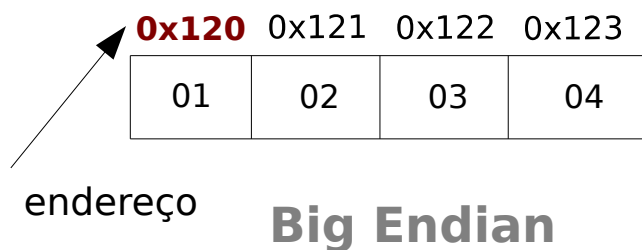
Dados representados na memória como **sequência de bytes**

inteiro (32 bits): 4 bytes



Duas convenções para **ordem de armazenamento dos bytes na memória**

- Big Endian (PowerPC): do byte mais significativo para o menos significativo
- Little Endian (Intel): do byte menos significativo para o mais significativo



Verificando a ordenação

Do ponto de vista de um programa C, para verificar a ordenação da memória é necessário "quebrar" o sistema de tipos

inteiro → sequência de bytes

```
#include <stdio.h>
void dump (void *p, int n) {
    unsigned char *p1 = p;
    while (n--) {
        printf("%p - %02x\n", p1, *p1);
        p1++;
    }
}
int main() {
    int num = 0x01020304;
    dump(&num, sizeof(int));
    return 0;
}
```