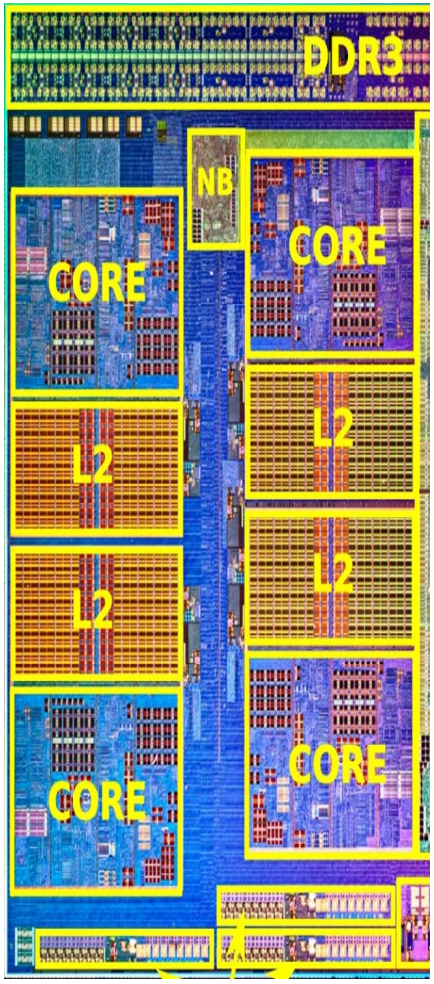
0273359 – Arquitetura e Organização de Computadores 1



Fonte: http://www.techspot.com/article/904-history-of-the-personal-computer-part-5/

ULA / Circuitos Somadores

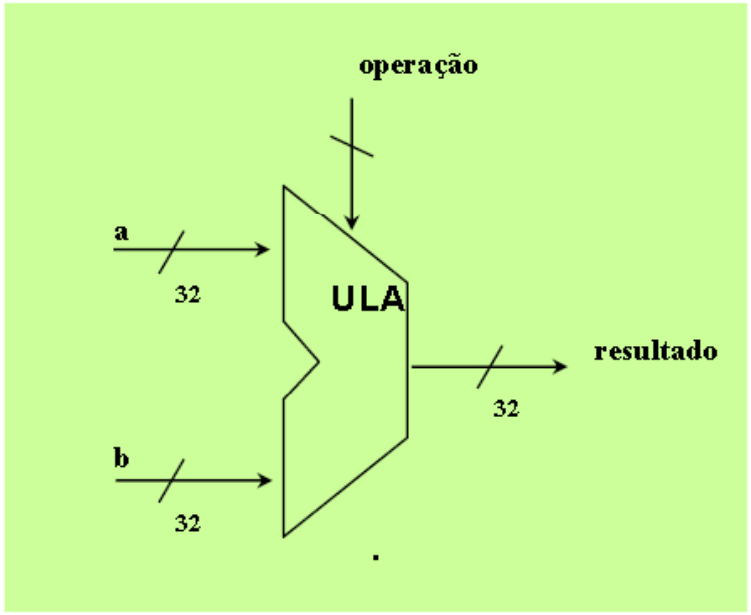
Luciano de Oliveira Neris
luciano@dc.ufscar.br

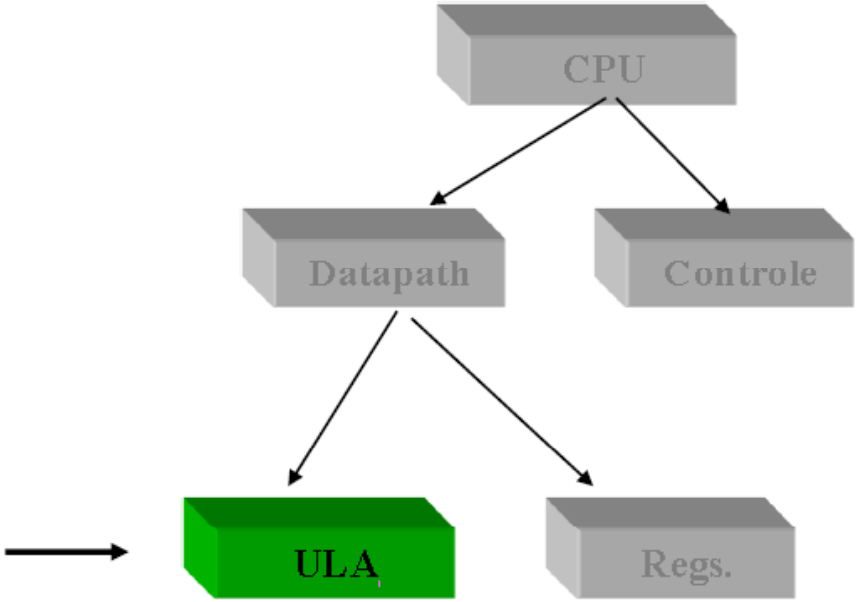
Adaptado de slides do prof. Marcio Merino Fernandes

Departamento de Computação
Universidade Federal de São Carlos

Unidade Lógica e Aritmética (ULA)

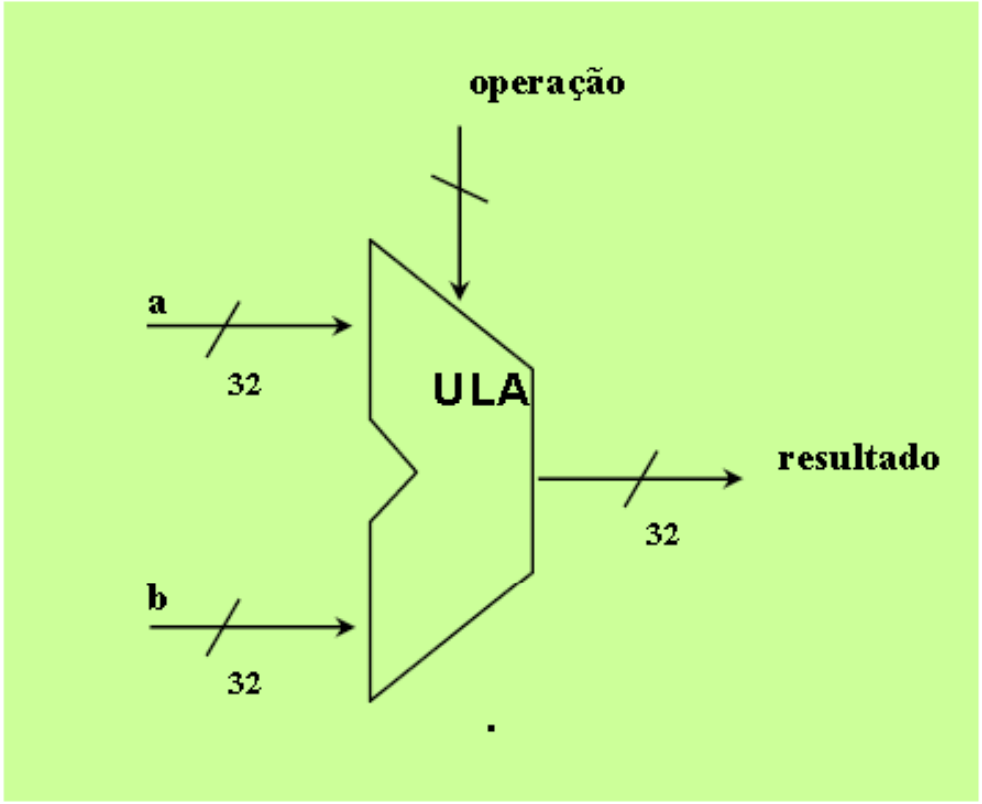
- **ULA: "Motor" do computador** -> dispositivo que executa operações aritméticas (add, sub, etc) e lógicas (AND, OR, etc).





Unidade Lógica e Aritmética (ULA)

- Como projetar e implementar uma ULA ?



Números

Números

- Bits são apenas bits (sem nenhum significado inerente)
  - convenções definem a relação entre bits e números
- Números Binários (base 2)
  - 0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001...
  - decimal: 0...2n-1
- Naturalmente resultam em algumas sofisticações:
  - números são finitos (overflow)
  - números fracionários e reais
  - números negativos
- Como representamos números negativos?

  ... ou seja, que padrões de bits representam os números?

Números Negativos

- Representação em Complementode 2 (C2):
  - Desenvolvida para tornar os circuitos aritméticos mais simples (e consequentemente mais rápidos)
  - Se o número for positivo:
    - Representação binária normal (bit mais significativo= 0)
  - Se o número for negativo:
    - Comece com o número binário positivo
    - Inverta todos os bits
    - Adicione 1 ao resultado
    - * Número Negativo em C2: primeiro bit = 1

Números

- Números com Sinal x Números sem Sinal
  - unsigned 1-byte: 0:255
  - signed 1-byte: -128:+127
- Inteiros são armazenados utilizando-se a notação complemento de 2.
  - Ex: Como armazenar -23 utilizando-se 2-bytes ?
    - 23 em binárito usando 2 bytes é 0000 0000 0001 0111
    - Calculando o complemento: 1111 1111 1110 1000
    - Somar 1: 1111 1111 1110 1001
    - -23 representado como complemento de 2 em 2 bytes= FFE9
- Vantagem do C-2: O mesmo hardware para efetuar adição trabalha da mesma forma, independente de se interpretar o número como sendo com ou sem sinal.
- A ISA normalmente contém instruções distintas para se trabalhar com números com ou sem sinal.

Números na Arquitetura MIPS

- *Números de 32 bits com sinal em C2:*

```
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000two = 0ten
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001two = + 1ten
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0010two = + 2ten
...
0111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1110two = + 2,147,483,646ten
0111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111two = + 2,147,483,647ten
1000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000two = – 2,147,483,648ten
1000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001two = – 2,147,483,647ten
1000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0010two = – 2,147,483,646ten
...
1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1101two = – 3ten
1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1110two = – 2ten
1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111two = – 1ten
```

maxint

minint

Sequencia: 0000...00 até 1111...11:
começa em 0, soma-se 1 até maxint (0111..11), soma-se 1 até minint (1111..11)

Operações em Complemento de 2

- Números Binários Negativos - Complemento de 2

(a) 01010110

-2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
0	1	0	1	0	1	1	0

$64 + 16 + 4 + 2 = +\mathbf{86}$

(b) 10101010

-2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
1	0	1	0	1	0	1	0

$-128 + 32 + 8 + 2 = \mathbf{-86}$

Operações em Complemento de 2

- Negar um número em complemento de 2: inverter todos os bits e somar 1

Um método mais fácil de obter a negação de um número em complemento de dois é o que se segue:

	Exemplo 1	Exemplo 2
1. A partir da direita, encontre o primeiro '1'	0101001	0101100
2. Inverte todos os bits à esquerda deste '1'	1010111	1010100

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Representação_de_números_com_sinal#Complemento_para_dois

Operações em Complemento de 2

- Convertendo um número de n bits em números com mais de n bits:
  - Um dado imediato de 16 bits do MIPS é convertido para 32 bits
  - Copiar o bit mais significativo (o bit de sinal) para outros bits

    0010 -> 0000 0010
    1010 -> 1111 1010

  - Operação conhecida como "extensão de sinal (sign extension) "
- Exercício: Converter os seguintes números de 4 bits em 8 bits:
  - 5
  - -6

Adição & Subtração

- Como no ensino fundamental: vai-um/ vem/um (carry/borrow)

```
  0111          0111          0110
+ 0110        - 0110        - 0101
```

- Operações em complemento de 2
  - subtração usando soma de números negativos

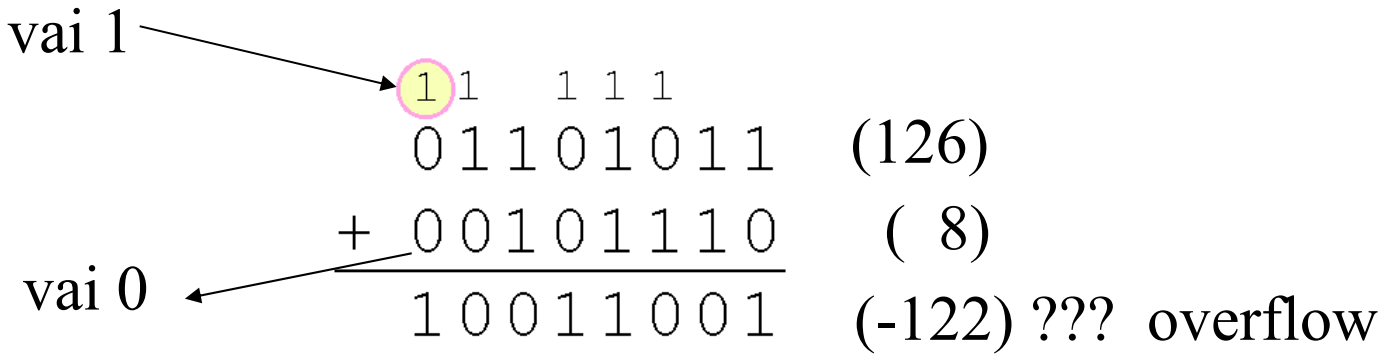
```
  0111
+ 1010
```

- Overflow (resultado muito grande para ser armazenado em x bits):
  - P.ex., somando dois números de n-bits não resulta em n-bits

```
  0111
+ 0001
 10000
```

Detectando Overflow

- Teste Eficiente p/ detectar o overflow: Se o "vai-um"que chega no bit de sinal for igual ao "vai-um" que sai do bit de sinal, não ocorreu overflow. Se forem diferentes. overflow!



- Exercício: Utilize as regras acima para detectar (ou não) o overflow nas seguintes operações usando inteiros de 4 bits:
  - 2 + 3
  - 7 + 5
  - -3 - 1
  - -4 - 5

Efeitos do Overflow

- Dispara uma exceção (interrupt)
  - A instrução salta para endereço predefinido para a rotina de exceção
  - O endereço da instrução interrompida é salvo para possível retorno

- Nem sempre se requer a detecção do overflow

Números sem sinal são normalmente usados para calcular endereços de acesso à memória, e neste caso o overflow não é considerado um problema, pois os números em questão são limitados pelo tamanho da memória endereçável.

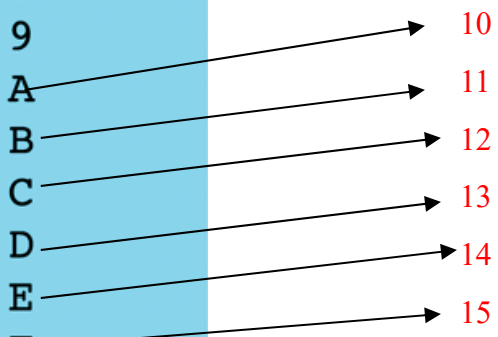
Obs: Ling. C não especifica a detecção de overflow.

Números

- **Representação hexadecimal:** *Forma de representação numérica utilizando 16 dígitos:*
  - **0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F**
- *Conveniente para a representação de grupos de bits (bit-patterns).*
  - ***4 bits = 1 dígito hexadecimal***
- *Computadores são normalmente organizados utilizando uma quantidade de bits que é um múltiplo de 4 → Notação hexadecimal é conveniente para representar endereços de memória, instruções, etc.*

Números

Bit pattern	Hexadecimal representation
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	A
1011	B
1100	C
1101	D
1110	E
1111	F



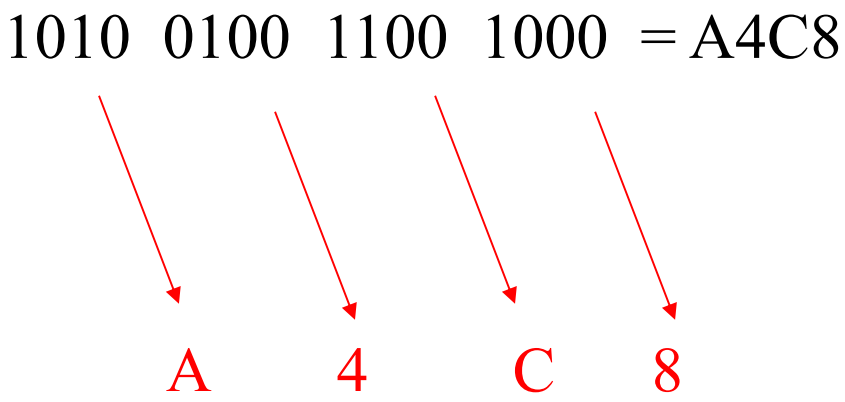
Números

- Exemplo: Calcule a representação hexadecimal da seguinte sequencia de bits:

1010010011001000

Números

- Exemplo: Calcule a representação hexadecimal da seguinte sequencia de bits:



Revisão sobre Álgebra Booleana e Portas

- Exercício: Considerar uma função lógica com 3 entradas: A, B, e C.

  A saída D é "true" se pelo menos uma entrada é "true"

  A saída E é "true" se exatamente duas entradas são "true"

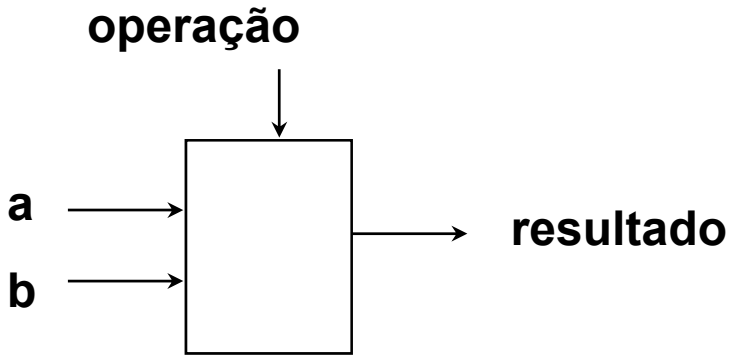
  A saída F é "true" somente se todas as três entradas são "true"

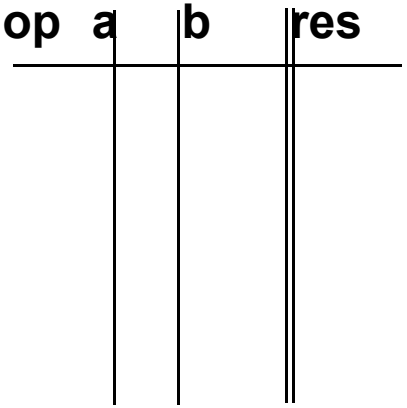
- Mostrar a tabela verdade para essas três funções.
- Mostrar as equações Booleanas para as três funções.
- Mostrar uma implementação consistindo de portas inversoras, AND, e OR.

ULA

Construindo uma ULA de 1 bit

- Considere uma ULA para suportar apenas as instruções **AND** e **OR**

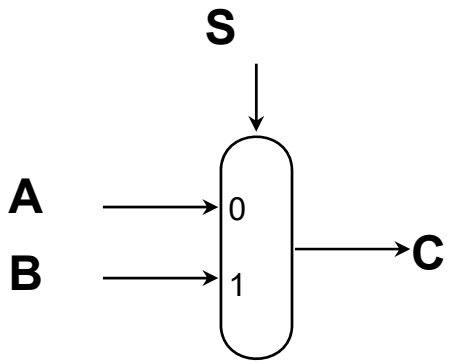




- Possível implementação: ?

Construindo uma ULA de 1 bit

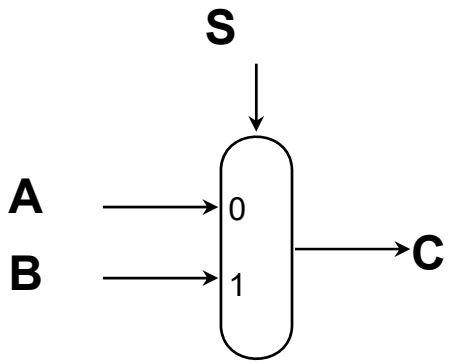
- Multiplexador (MUX): Seleciona uma das entradas para a saída, baseado numa entrada de controle



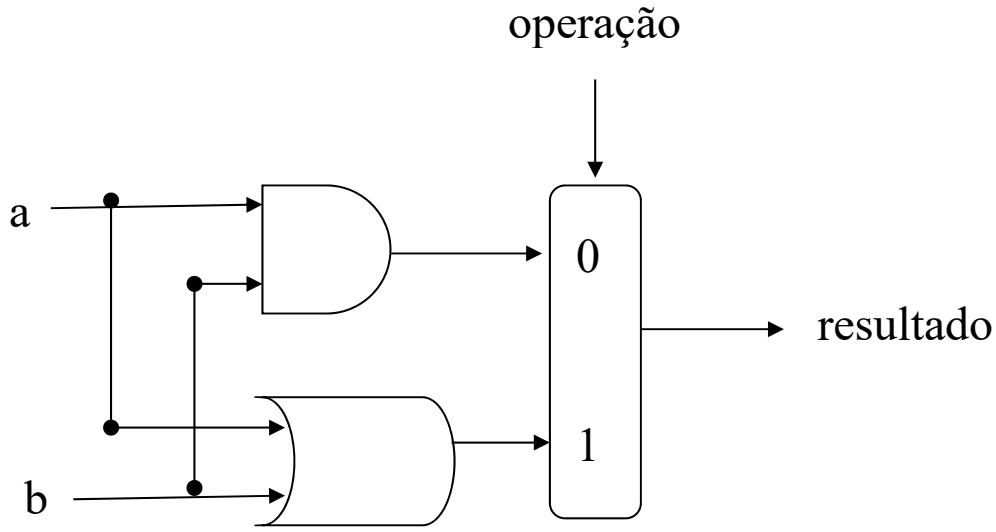
- Nossa ULA pode ser construída usando um MUX

Construindo uma ULA de 1 bit

- Considere uma ULA para suportar apenas as instruções **AND** e **OR**

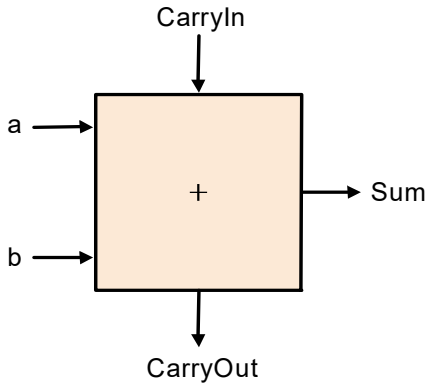


- Possível implementação:



Construindo uma ULA de 1 bit

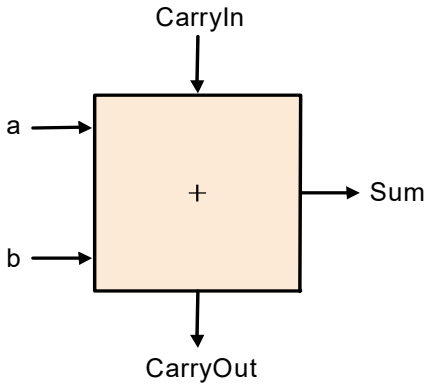
- Incluir recursos para executar a operação de Adição na nossa ULA:
- Considere um circuito somador de 1-bit:



- Exercício: Construir a tabela verdade e o circuito correspondente para o somador de 1 bit definido acima.
  - Obs: 3 entradas (a, b, CarryIn)
  - Obs: 2 saídas (CarrayOut, Sum)

Construindo uma ULA de 1 bit

- Incluir recursos para executar a operação de Adição na nossa ULA:
- Seja a ULA de 1-bit para soma:



Expressões p/ CarryOut e Sum:

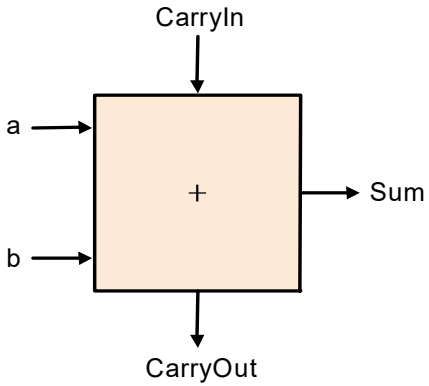
CarryOut = a b + a xor b CarryIn

Sum = a xor b xor CarryIn

- Exercício: Verificar que a expressão acima corresponde à tabela verdade para o somador de 1 bit. Construir o circuito correspondente.

Construindo uma ULA de 1 bit

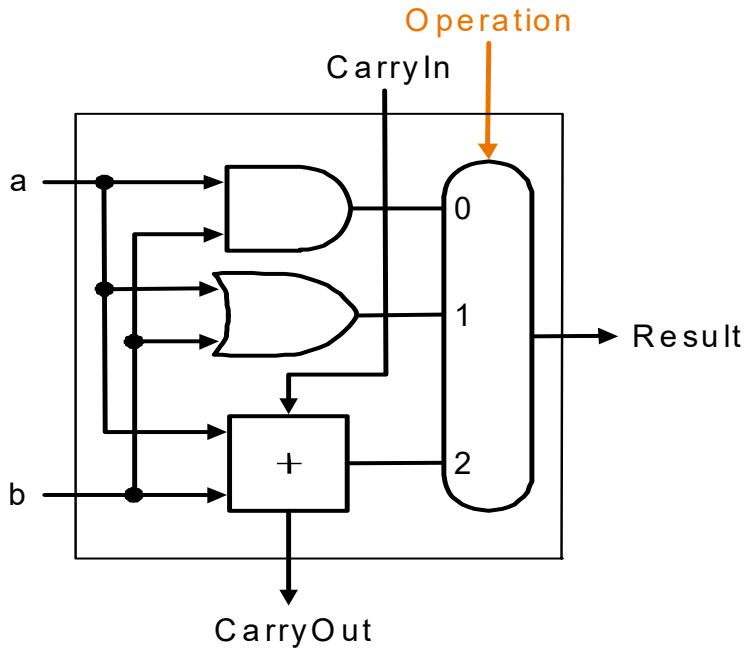
- Incluir recursos para executar a operação de Adição na nossa ULA:
- Temos o somador de 1 bit:



- Agora, podemos acoplar o somador de 1 bit à ULA p/ AND e OR anteriormente projetada:

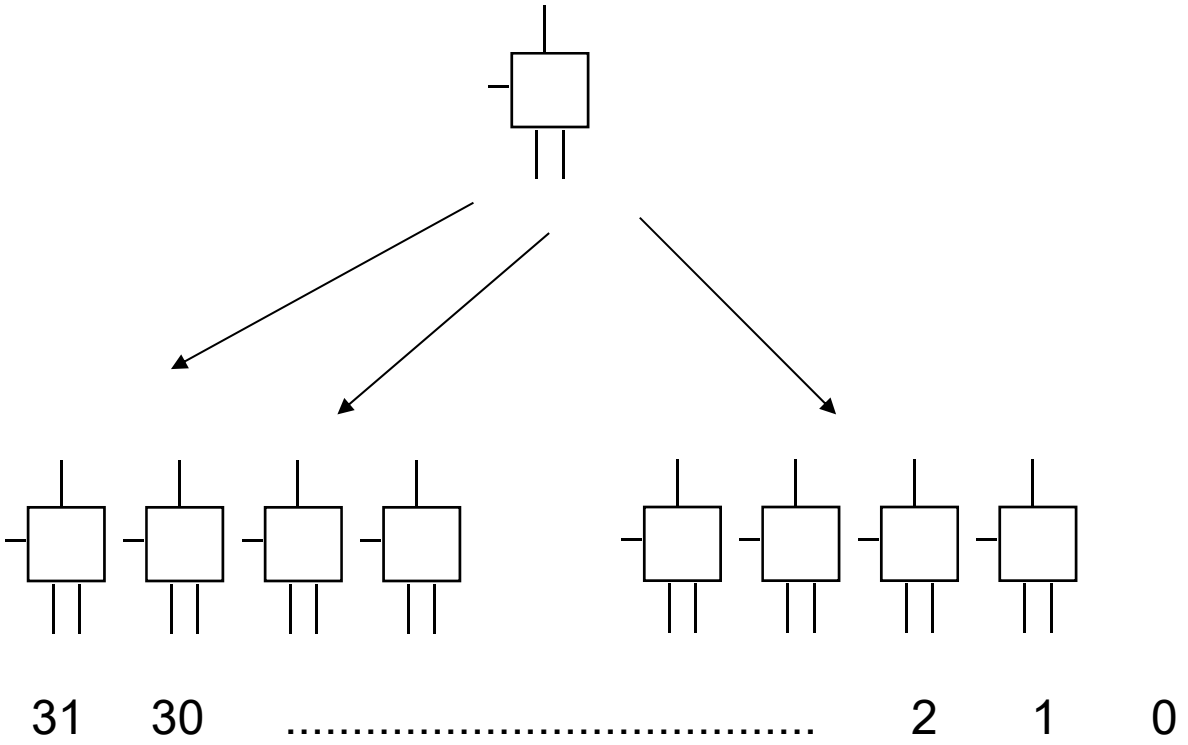
Construindo uma ULA de 1 bit

ULA para efetuar ADD, AND e OR com duas entradas de 1 bit:

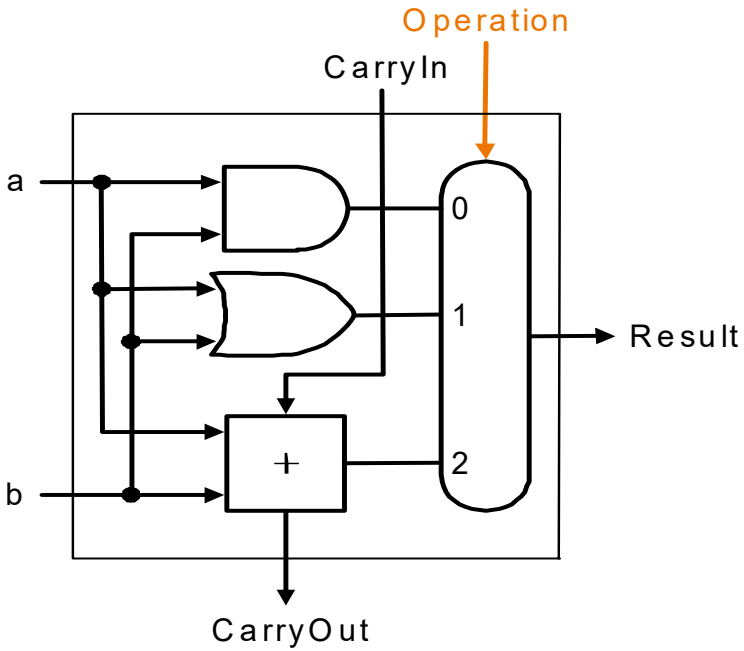


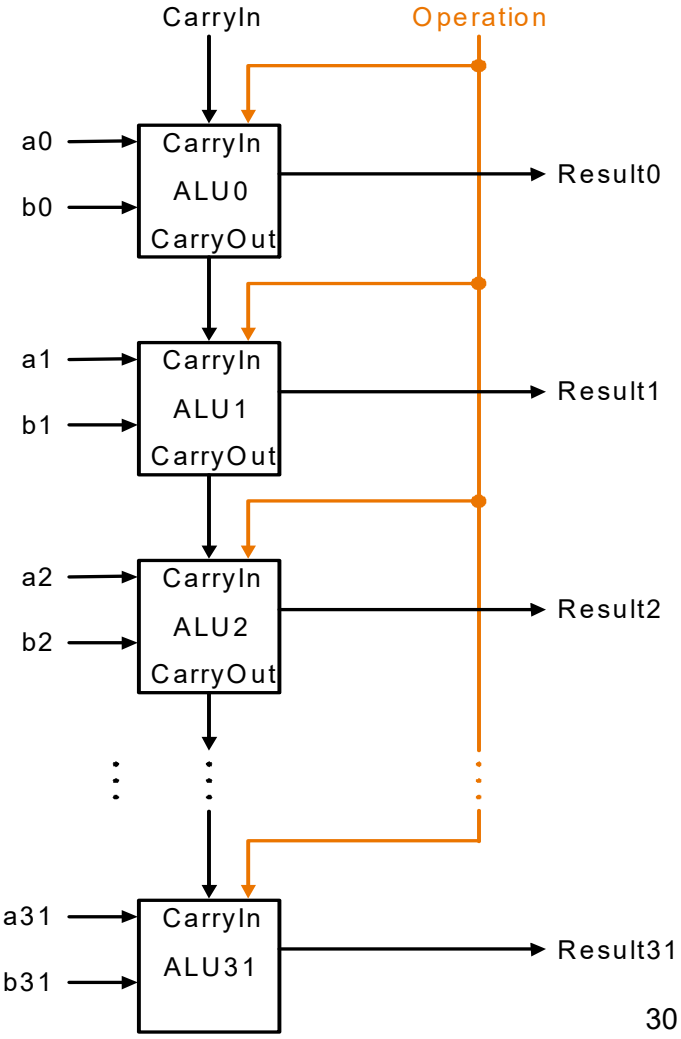
Construindo uma ULA de 32 bits

Projetar uma ULA de 1 bit, e replicá-la 32 vezes



Construindo uma ULA de 32 bits





Obs: este esquema é conhecido como somador *ripple carry* (vai-um-propagado)