



**Universidade Federal de Pelotas**  
**Centro de Desenvolvimento Tecnológico**  
**Bacharelado em Engenharia de Computação**

# **Circuitos Digitais**

## **Aula T5**

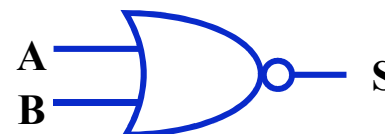
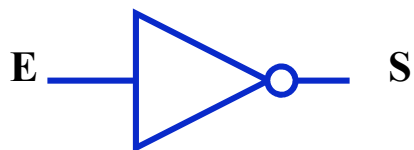
**Implementação de Circuitos Lógicos:**  
**Mapeamento Tecnológico de Funções Booleanas.**

**Prof. Leomar S. Rosa Jr.**  
**leomarjr@inf.ufpel.edu.br**

# Implementação de Circuitos Digitais

## ► A Tecnologia de Implementação

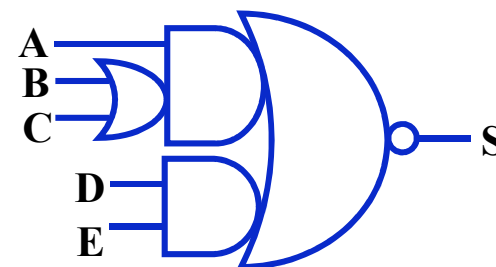
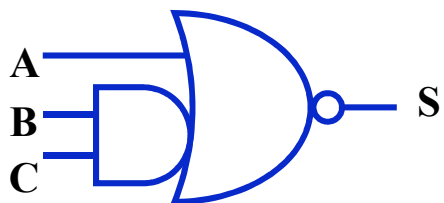
- CMOS é a tecnologia de fabricação dominante, correspondendo a aproximadamente 98% de todos os circuitos integrados fabricados no mundo atualmente.
- CMOS somente possibilita a construção de portas que implementam funções negadas. Exemplos:



# Implementação de Circuitos Digitais

## ► A Tecnologia de Implementação

- As portas **NAND** e **NOR** podem ter mais de 2 entradas. Porém, devido a restrições elétricas, utilizam-se portas de até 4 entradas
- Por outro lado, é possível construir **portas complexas** (*SCCG-static CMOS complex gates*). Exemplos:



# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Adaptando-se à Tecnologia de Implementação

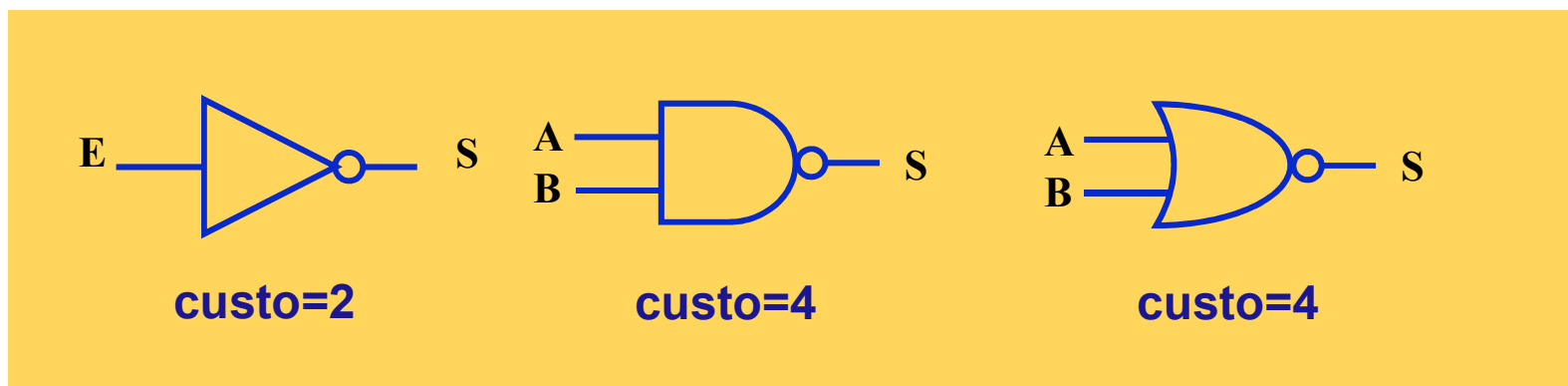
- Os tipos de portas disponíveis dependem:
  - da forma de implementação física do circuito
  - das ferramentas de EDA (*Electronic Design Automation*) disponíveis
- **Biblioteca** é o nome dado ao conjunto de portas que podem ser usadas por uma ferramenta/forma de implementação
- **Mapeamento Tecnológico** é o procedimento de transformar a descrição de um circuito que usa portas lógicas primitivas (E, OU, XOR) em uma descrição equivalente, porém contendo somente portas de uma dada biblioteca

# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Bibliotecas de Células

Exemplo 1:

Portas CMOS com até 2 entradas



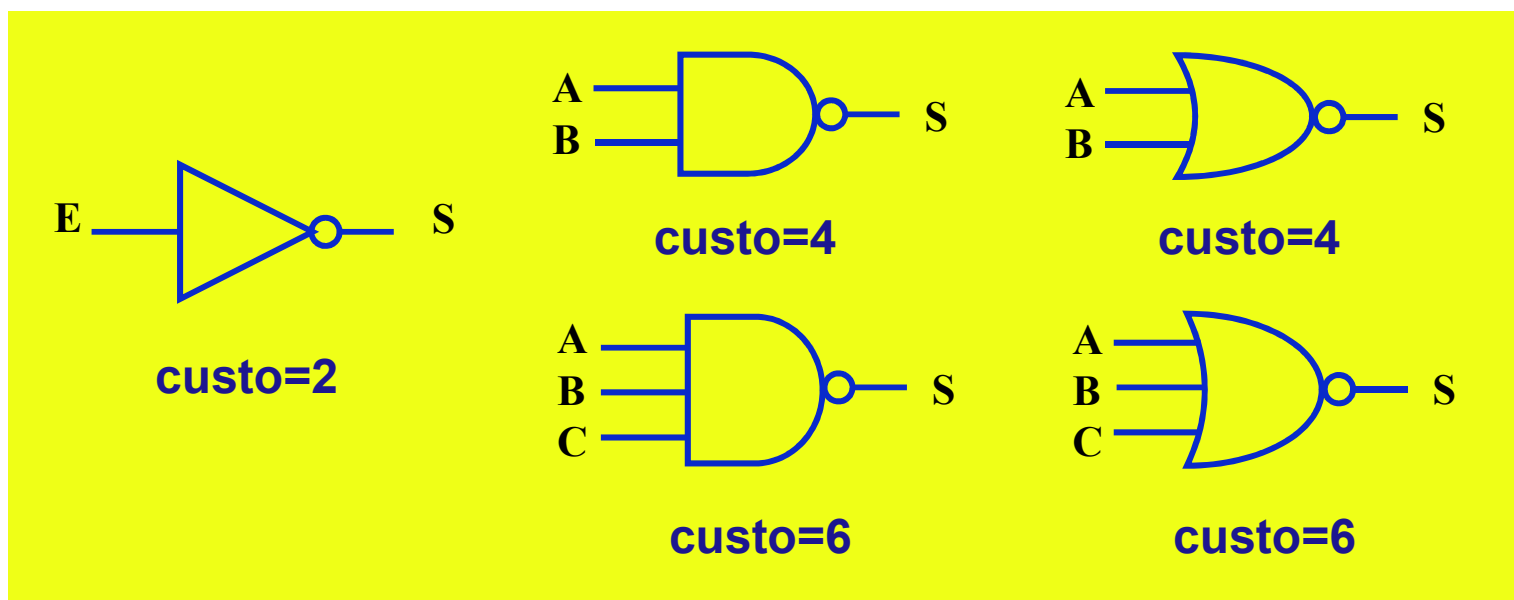
**Custo de uma porta = número de transistores**

# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Bibliotecas de Células

**Exemplo 2:**

**Portas CMOS simples com até 3 entradas**

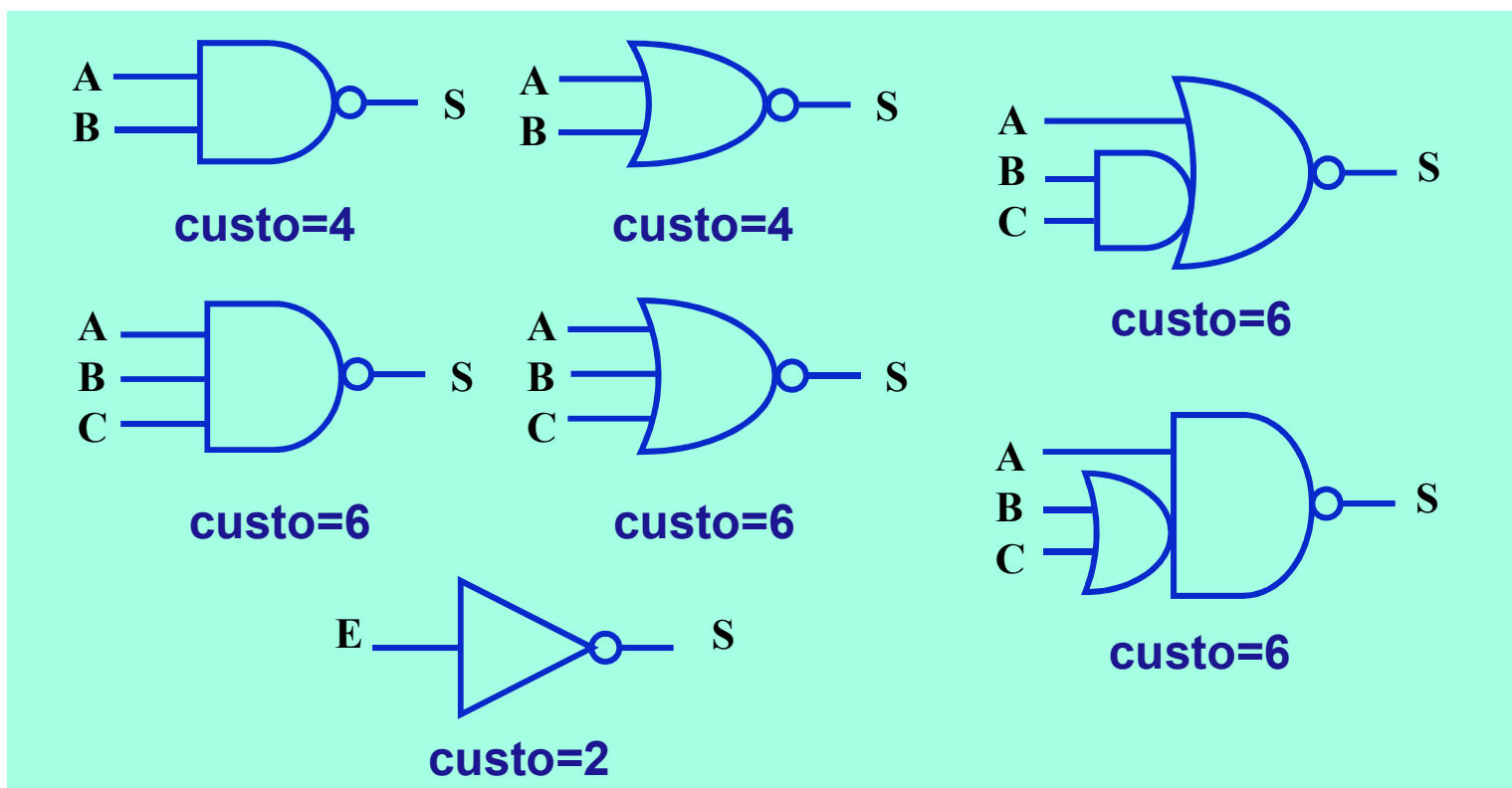


# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Bibliotecas de Células

### Exemplo 3:

### Portas CMOS com até 3 entradas

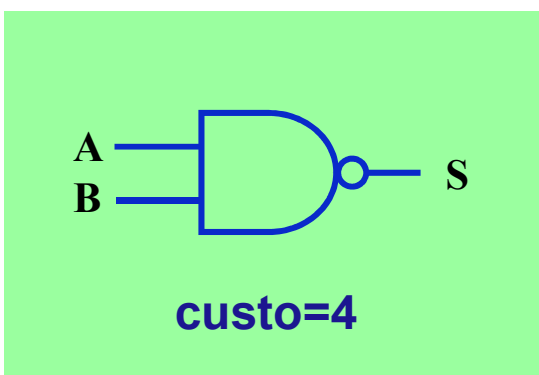


# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Bibliotecas de Células

Exemplo 4:

Portas NAND de 2 entradas (!!!)



**É possível mapear qualquer circuito usando somente portas NAND de 2 entradas? Isso veremos a seguir...**

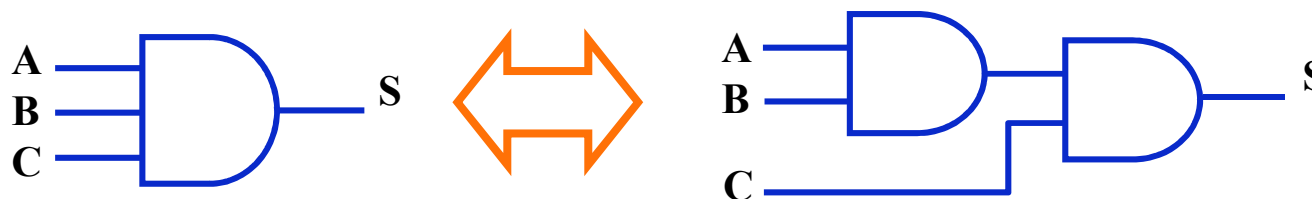


# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Passos para Realizar o Mapeamento

1. Quando houver limitação quanto ao número de entradas das portas lógicas (e alguma porta no circuito original ultrapassar tal limitação):

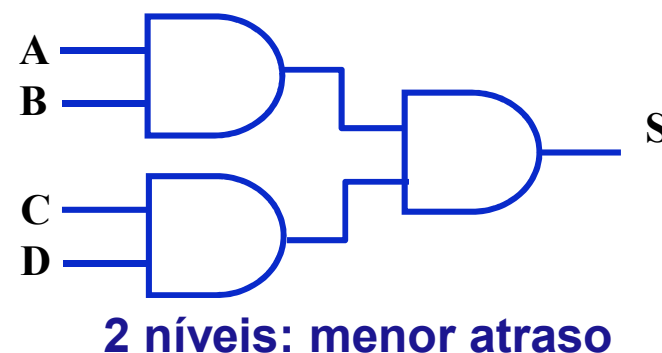
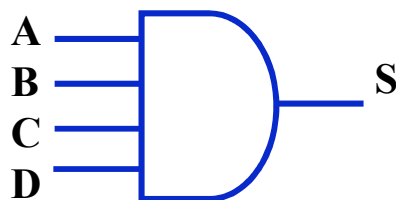
Equivalência entre portas lógicas **AND**  
(considerando limitação em 2 entradas):



# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Passos para Realizar o Mapeamento

Equivalência entre portas lógicas **AND**  
(limitação em 2 entradas):



# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Passos para Realizar o Mapeamento

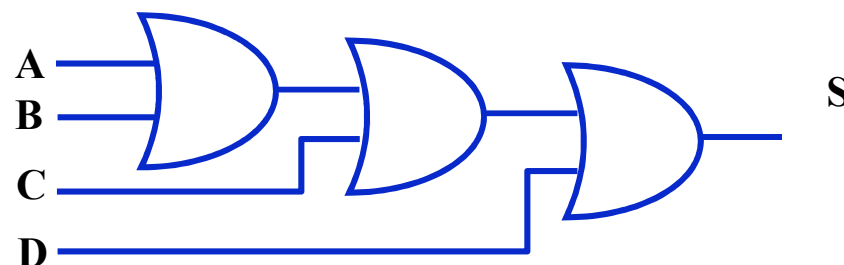
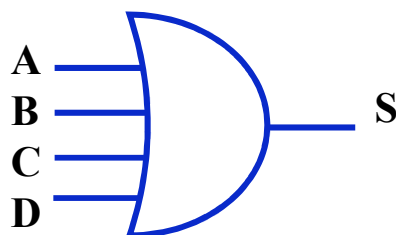
Equivalência entre portas lógicas **OR**  
(considerando limitação em 2 entradas):



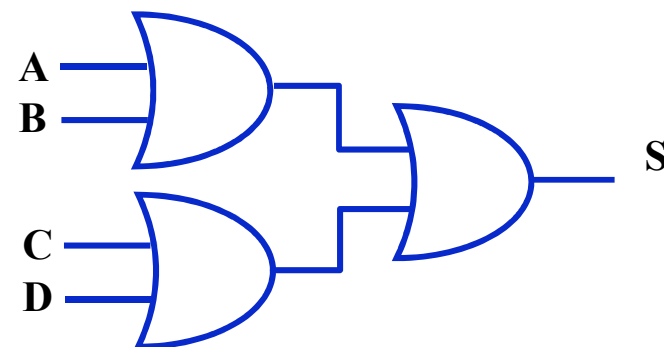
# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Passos para Realizar o Mapeamento

Equivalência entre portas lógicas **OR**  
(limitação em 2 entradas):



3 níveis: maior atraso



2 níveis: menor atraso

# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Passos para Realizar o Mapeamento

### Atenção

As equivalências mostradas anteriormente valem somente para portas não-inversoras (AND e OR).

Logo:



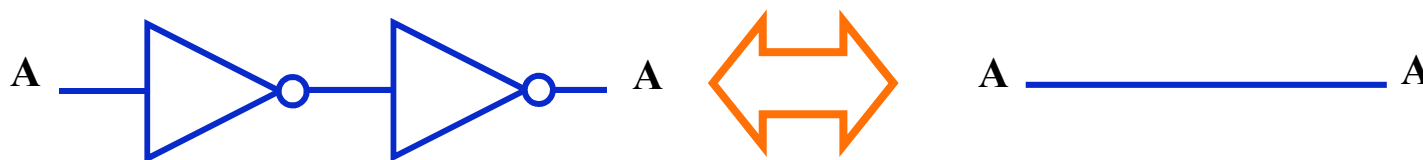
Idem para as demais equivalências vistas anteriormente ...

# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Passos para Realizar o Mapeamento

**2.** Usar a propriedade 9 para “fazer aparecer” inversões nas saídas e/ou entradas das portas

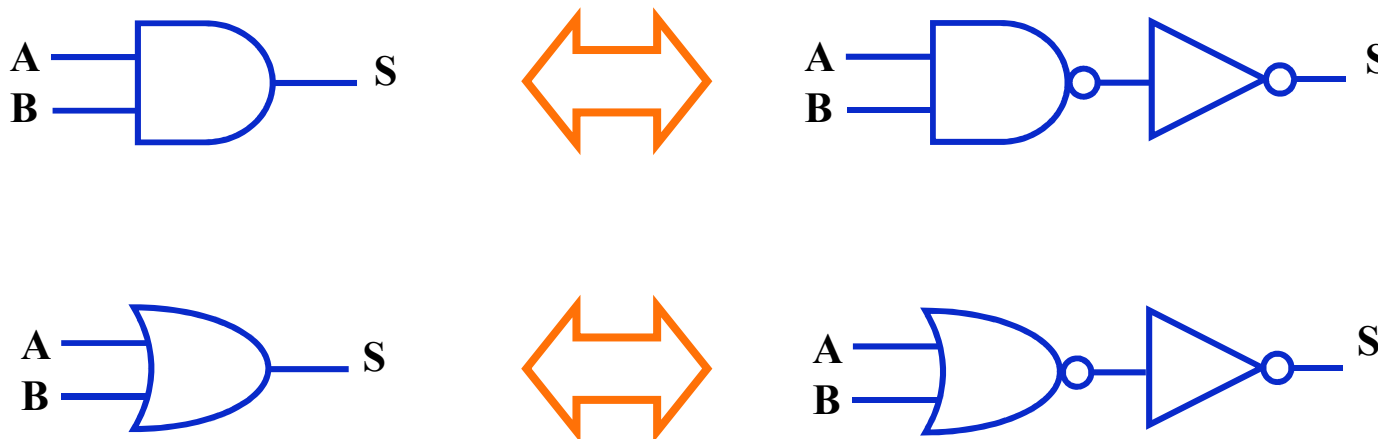
Propriedade 9:  $\overline{\overline{A}} = A$



# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Passos para Realizar o Mapeamento

Lembrando que (equivalências entre portas não-negadoras e portas negadoras):



Válido para portas com mais do que 2 entradas...

# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Passos para Realizar o Mapeamento

**3.** No caso de não se dispor de um dos tipos de portas, NAND ou NOR, aplicar De Morgan

$$(1) \quad \overline{A \cdot B \cdot C \cdot \dots} = \overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \dots$$

$$(2) \quad \overline{A + B + C + \dots} = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot \dots$$

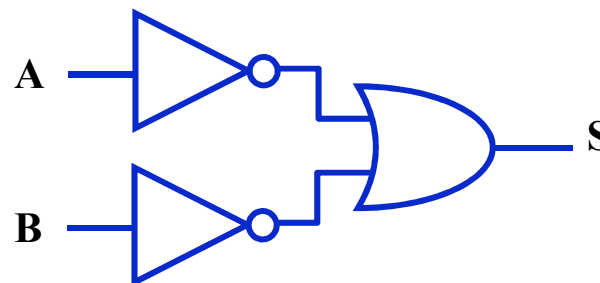
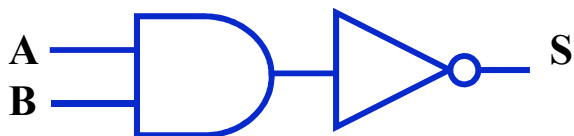


# Implementação de Circuitos Digitais

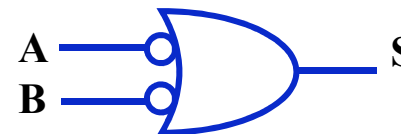
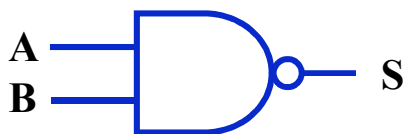
## ► Passos para Realizar o Mapeamento

**Circuitos Lógicos para o 1º Teorema de De Morgan**  
(considerando somente duas variáveis)

$$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$$



**ou**

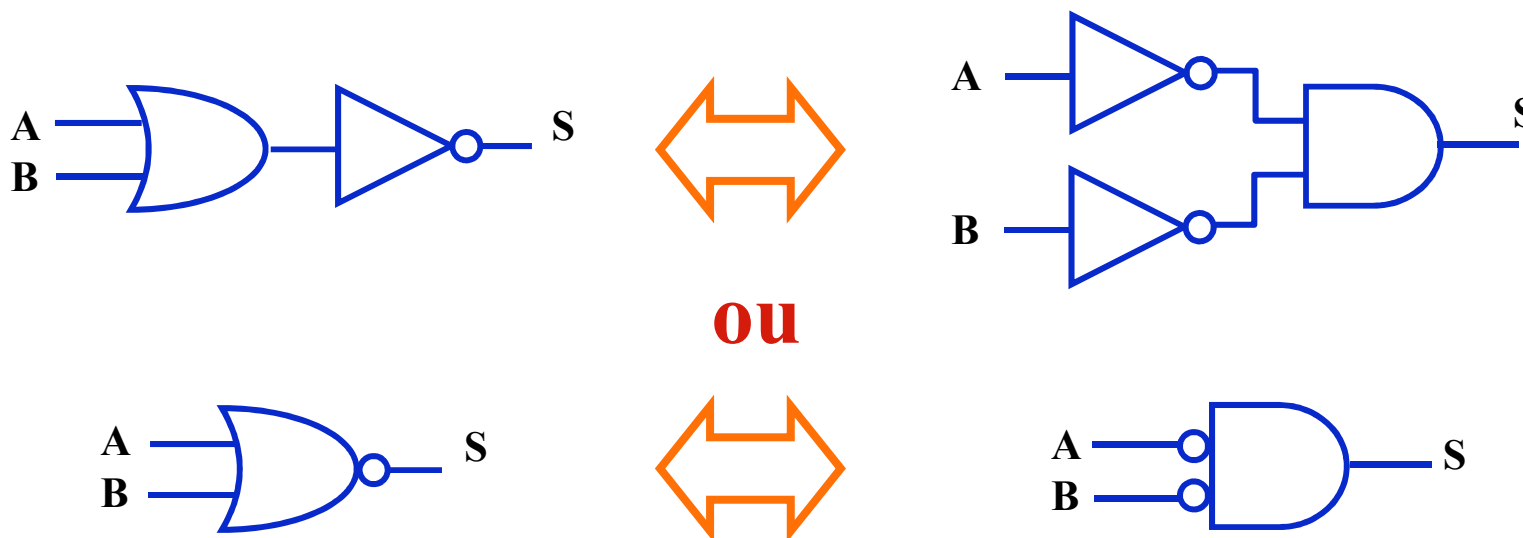


# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Passos para Realizar o Mapeamento

**Circuitos Lógicos para o 2º Teorema de De Morgan**  
(considerando somente duas variáveis)

$$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$$

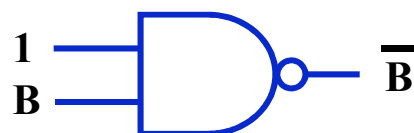


# Implementação de Circuitos Digitais

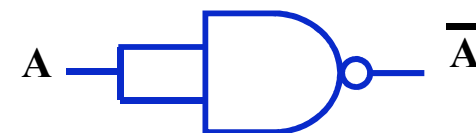
## ► Passos para Realizar o Mapeamento

- 4.** No caso de não se dispor de inversores, utilizar portas **NAND de duas entradas** (preferivelmente) ou portas **NOR de duas entradas**

A	B	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



A	B	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



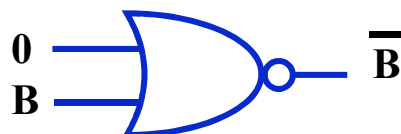
ou

# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Passos para Realizar o Mapeamento

Usando portas NOR de 2 entradas

A	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



A	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

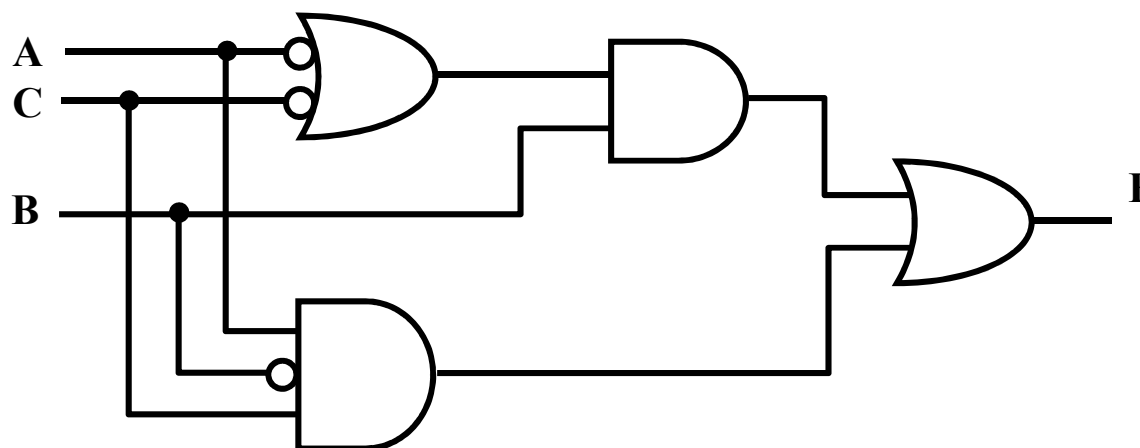


ou

# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Exemplo de Mapeamento

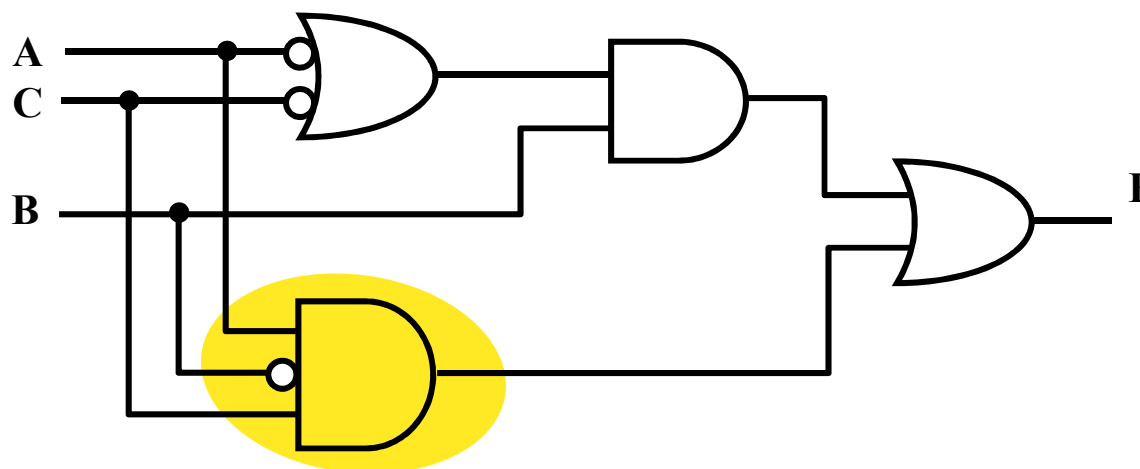
Mapeie o circuito a seguir para a tecnologia CMOS, considerando uma biblioteca composta somente por portas NAND de 2 entradas.



# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Exemplo de Mapeamento

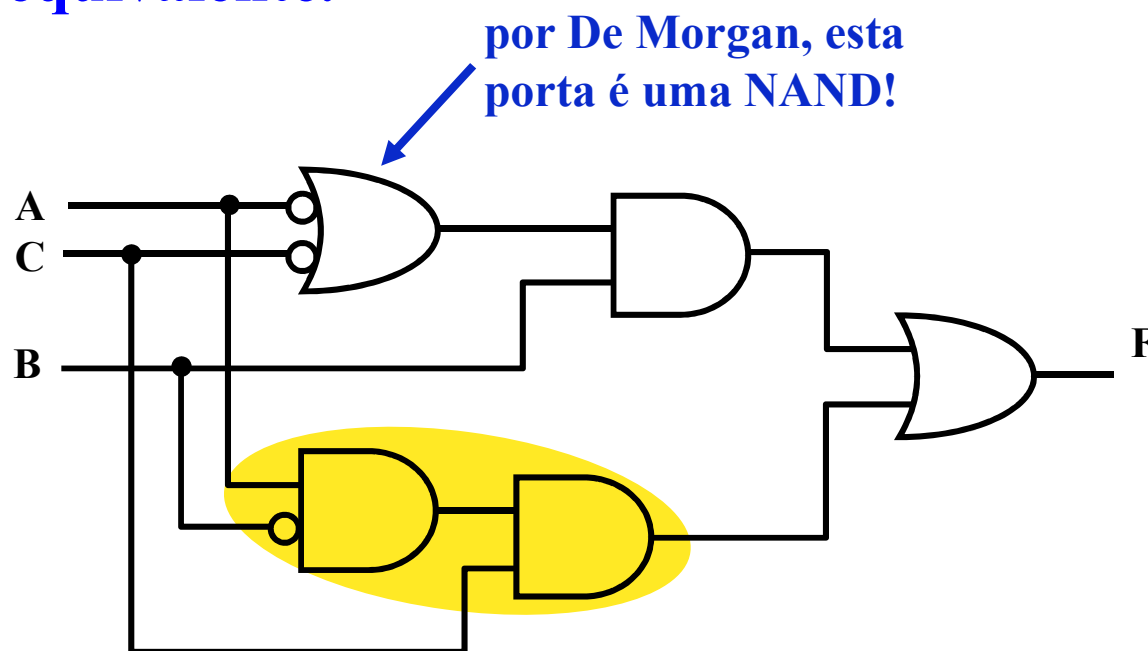
1. A biblioteca dispõe somente de portas NAND de 2 entradas. Logo, devemos substituir a porta de 3 entradas por um circuito equivalente.



# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Exemplo de Mapeamento

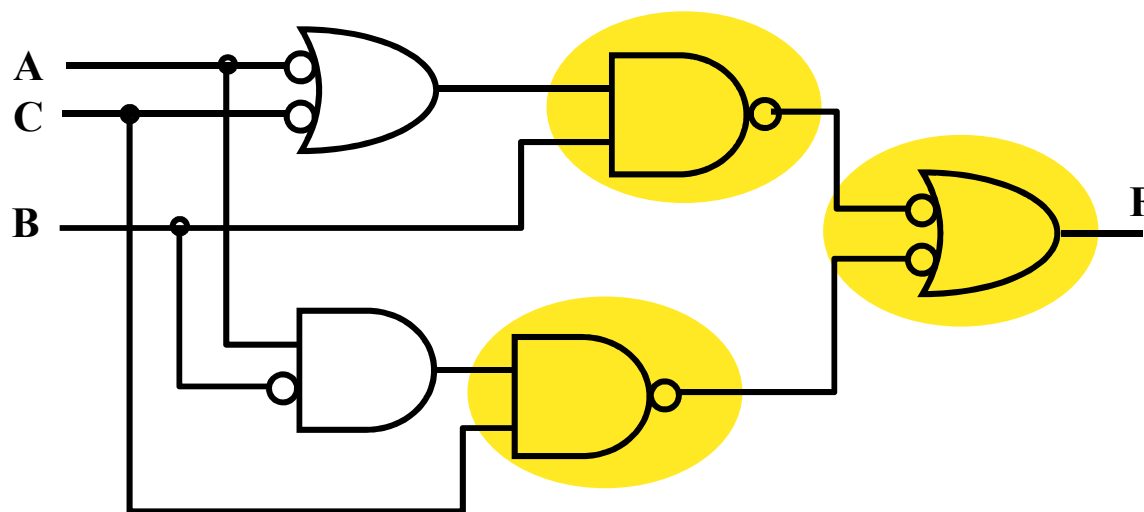
1. A biblioteca dispõe somente de portas NAND de 2 entradas. Logo, devemos substituir a porta de 3 entradas por um circuito equivalente.



# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Exemplo de Mapeamento

- 2.** Aplicando a propriedade 9 aos dois fios que chegam às entradas da porta OU que gera a saída F, consegue-se mapear 3 portas.

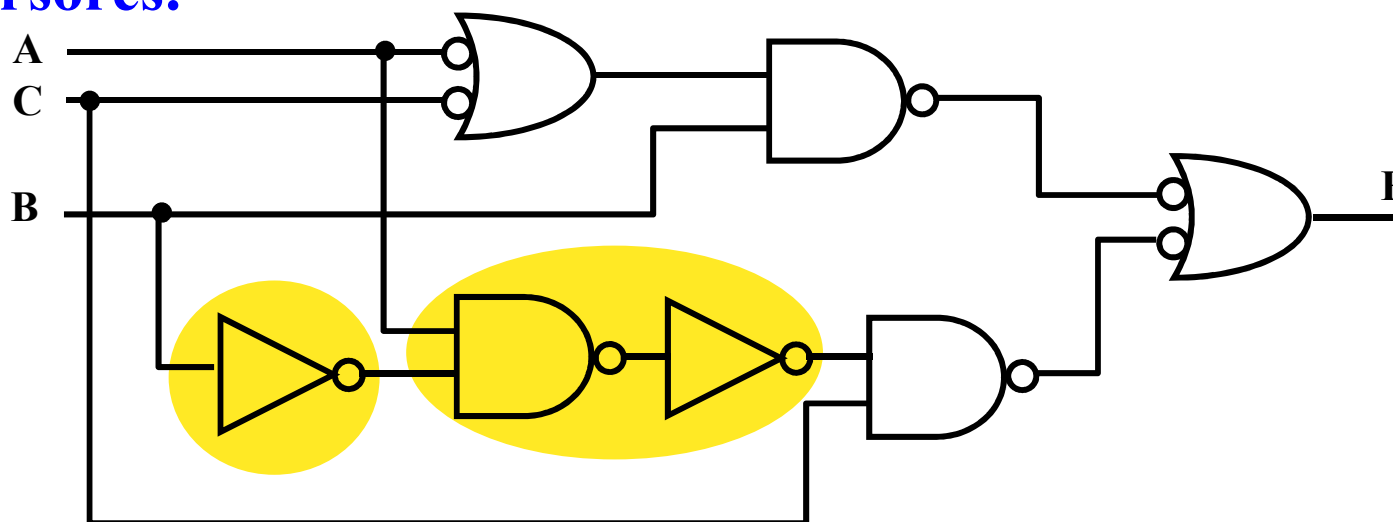




# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Exemplo de Mapeamento

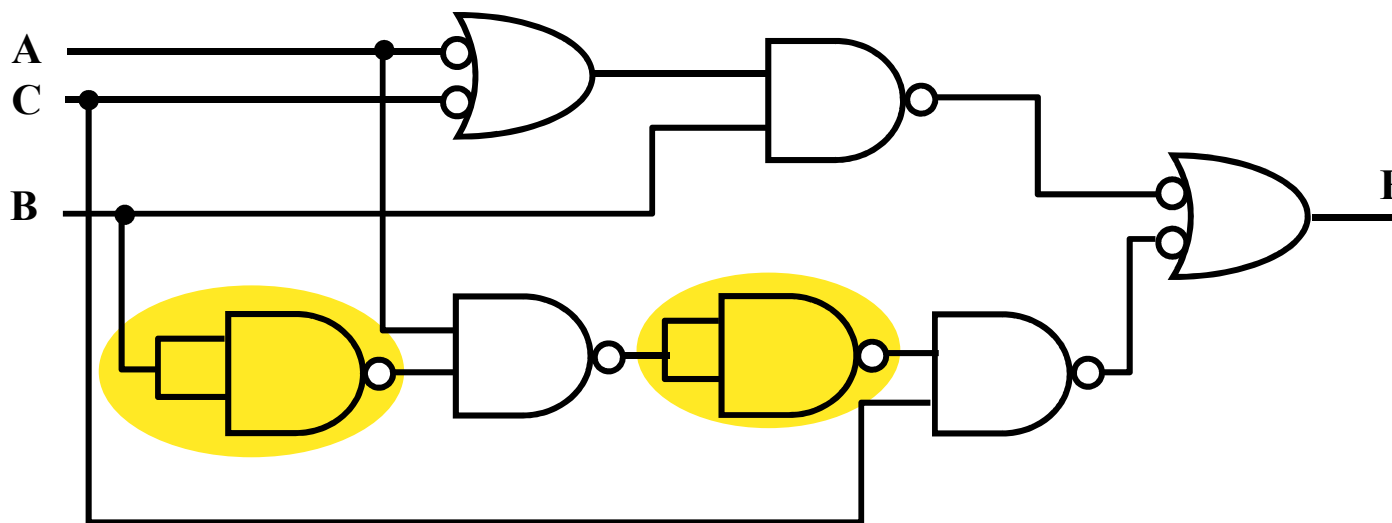
3. Substituindo-se a primeira porta E (da esq. para a dir) pelo seu equivalente CMOS e isolando-se a inversão na sua entrada, obtém-se um circuito mapeado, porém usando inversores.



# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Exemplo de Mapeamento

4. Como só podemos usar portas NAND, será preciso substituir os inversores.



**Custo do circuito mapeado:  $7 \times 4 = 28$  transistores**  
(se pudessem ser usados inversores, o custo seria de 24 transistores)

# Implementação de Circuitos Digitais

## ► Observações Finais

- Procedimento mostrado aqui não é formal e tampouco é único
- Procedimentos formais existem, mas fogem ao escopo desta disciplina (são mais apropriados para desenvolvimento de programas de mapeamento, chamados *technology mappers* ou *technology binders*)
- O processo de mapeamento também deve buscar a obtenção de um circuito mapeado **com o menor custo possível**