



Universidade Federal de Pelotas

Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Bacharelado em Engenharia de Computação

Circuitos Digitais

Aula T11

Implementação de circuitos lógicos:
Comportamento dinâmico simplificado de portas
lógicas CMOS, atraso de propagação, formas de onda
e diagramas de tempo.

Profs. Leomar S. Rosa Jr.

leomarjr@inf.ufpel.edu.br

Implementação de Circuitos Digitais

► Comportamento Dinâmico do Inversor

Esquemático
lógico

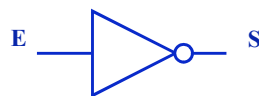
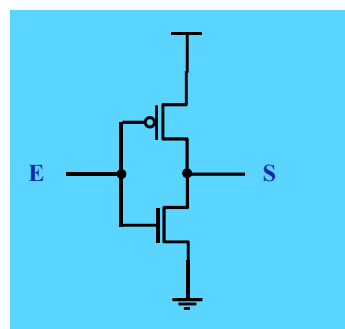


Tabela-verdade

E	S
0	1
1	0

Esquemático de
transistores

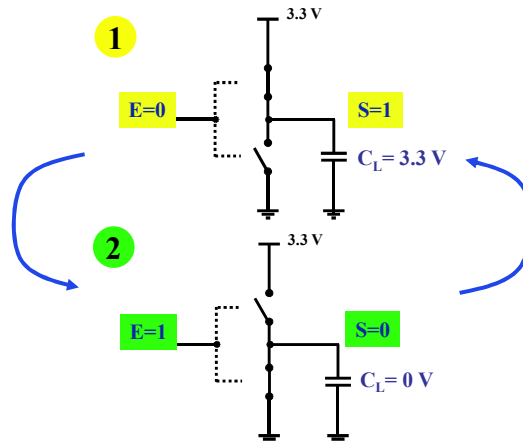


Implementação de Circuitos Digitais

Comportamento Dinâmico do Inversor

Duas transições possíveis:

E	S
0	1
1	0



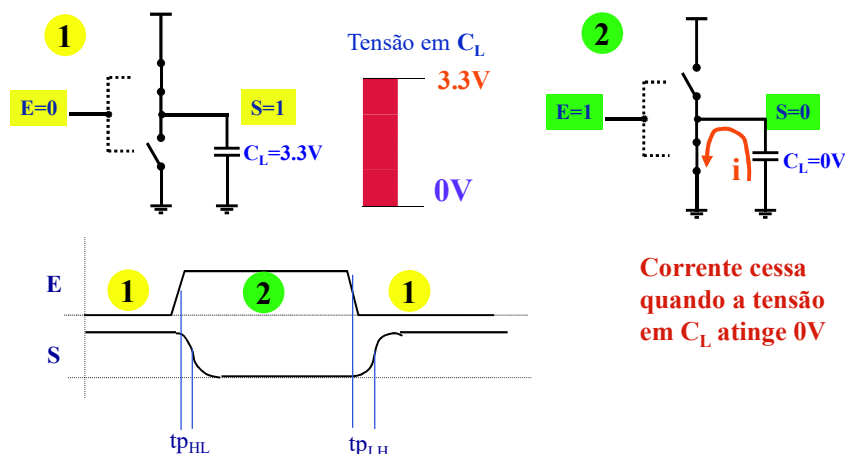
Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.3

Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

Comportamento Dinâmico do Inversor



Corrente cessa
quando a tensão
em C_L atinge 0V

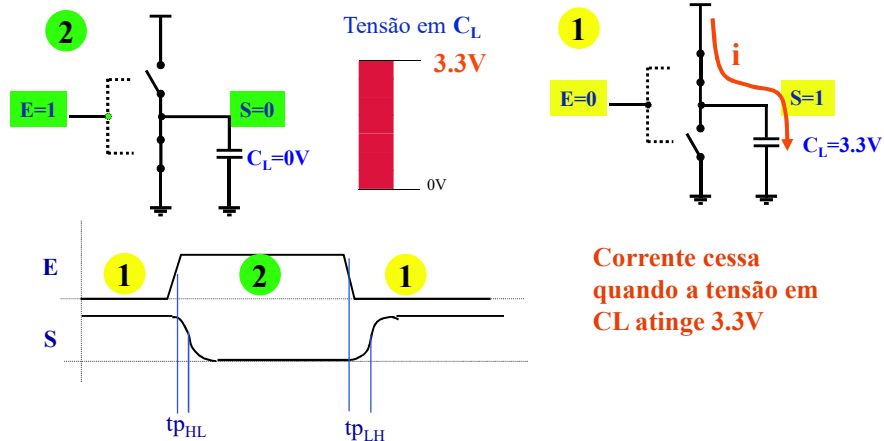
Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.4

Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

Comportamento Dinâmico do Inversor



Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.5

Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

Comportamento Dinâmico da NAND

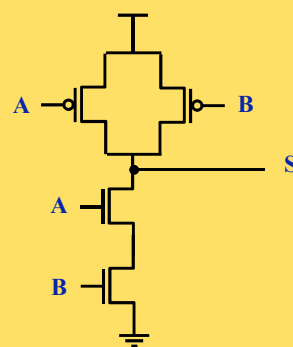
Esquemático lógico



Tabela-verdade

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

Esquemático de transistores



Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.6

Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

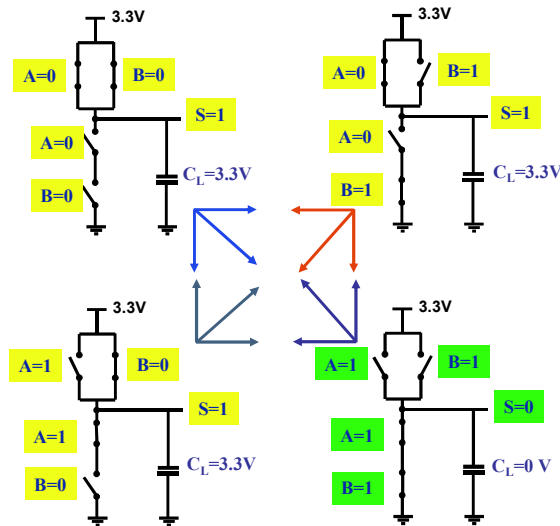
► Comportamento Dinâmico da NAND

Quantas transições
são possíveis?

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

**12 transições
possíveis!**

Computação UFPel
Circuitos Digitais



Implementação de Circuitos Digitais

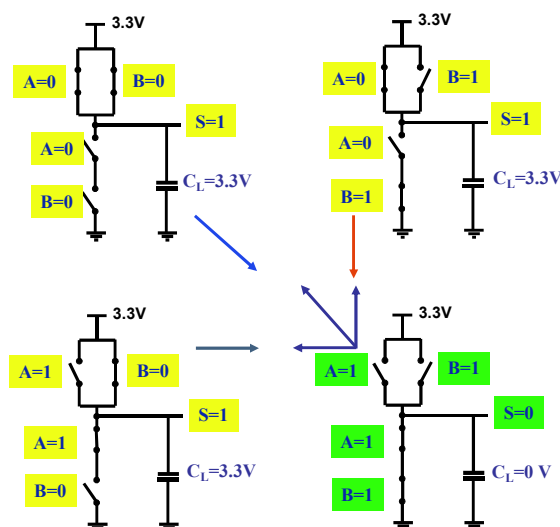
► Comportamento Dinâmico da NAND

Porém, somente 6
transições de entrada
conduzem a uma
transição da saída!

São estas que mais
importam...

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

Computação UFPel
Circuitos Digitais



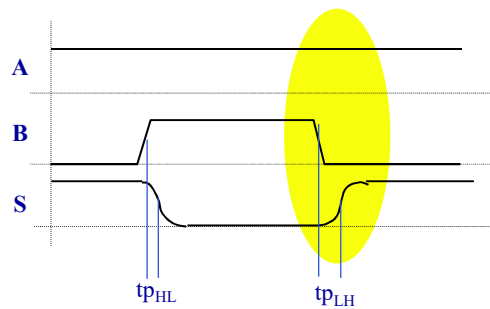
Implementação de Circuitos Digitais

► Comportamento Dinâmico da NAND

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

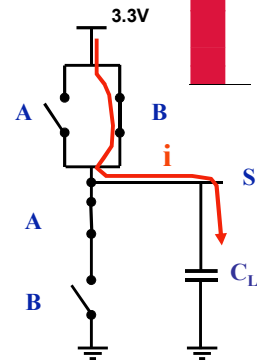
Corrente cessa quando a tensão em C_L atinge 3.3V

Tensão em C_L
3.3V
0V



Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.9



Prof. Leomar S. Rosa Jr.

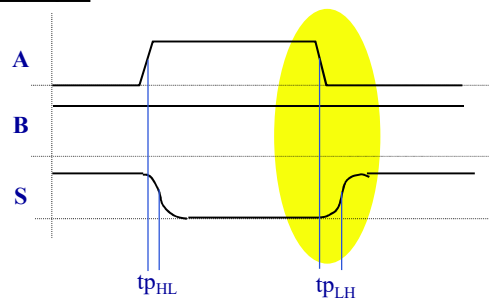
Implementação de Circuitos Digitais

► Comportamento Dinâmico da NAND

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

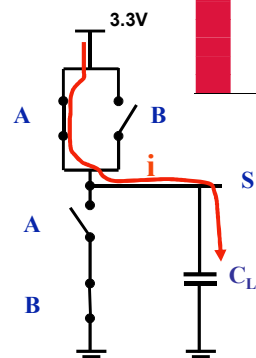
Corrente cessa quando a tensão em C_L atinge 3.3V

Tensão em C_L
3.3V
0V



Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.10



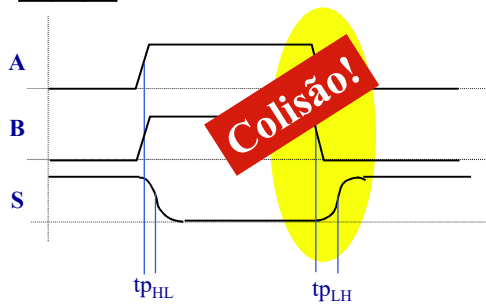
Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

► Comportamento Dinâmico da NAND

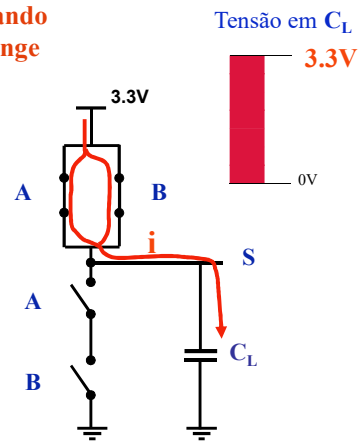
A	B	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Corrente cessa quando a tensão em C_L atinge 3.3V



Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.11



Prof. Leomar S. Rosa Jr.

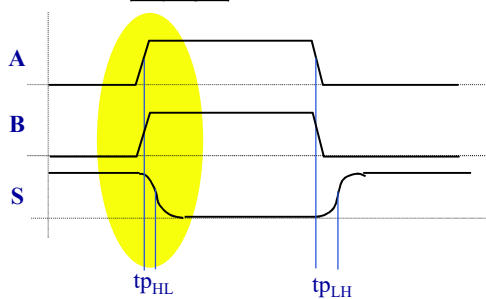
Implementação de Circuitos Digitais

► Comportamento Dinâmico da NAND

colisão

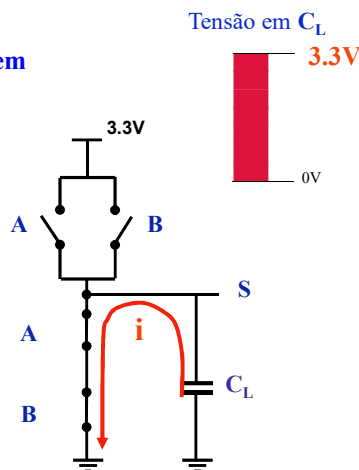
A	B	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Corrente cessa quando a tensão em C_L atinge 0V



Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.12



Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

Portas Lógicas CMOS: NOR de 2 entradas

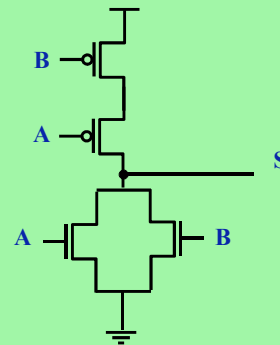
Esquemático lógico



Tabela-verdade

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

Esquemático de transistores

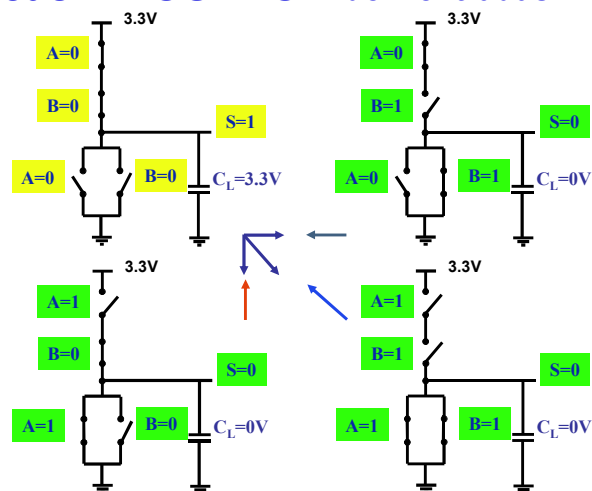


Implementação de Circuitos Digitais

Portas Lógicas CMOS: NOR de 2 entradas

Quantas transições
precisam ser
consideradas?

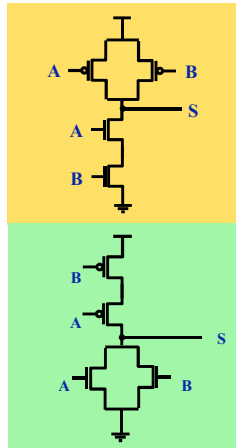
A	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



Implementação de Circuitos Digitais

Caracterização Temporal de Portas

Tabela de Atrasos segundo o modelo pino-a-pino



NAND2	A	B
tp_{HL}	valor	valor
tp_{LH}	valor	valor

NOR2	A	B
tp_{HL}	valor	valor
tp_{LH}	valor	valor

Computação UFPel
Circuitos Digitais

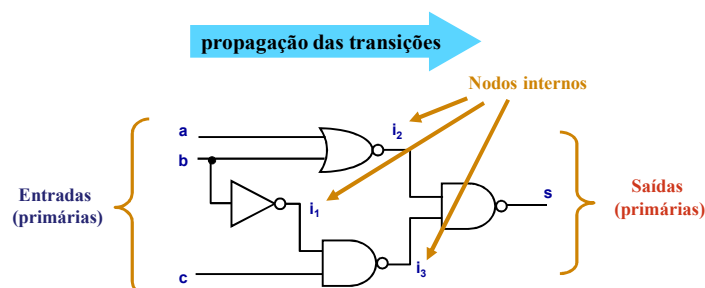
Slide T11.15

Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

Comportamento Dinâmico de Circuitos

Quando ocorre uma modificação nos valores aplicados nas entradas de um circuito lógico, esta modificação irá ocasionar modificações das variáveis internas e das saídas.



Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.16

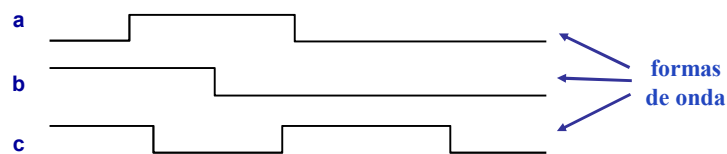
Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

► Sinais e Formas de Onda

- Dá-se o nome de **sinal** a uma variável Booleana no tempo
- Sinais são representados graficamente por formas de onda

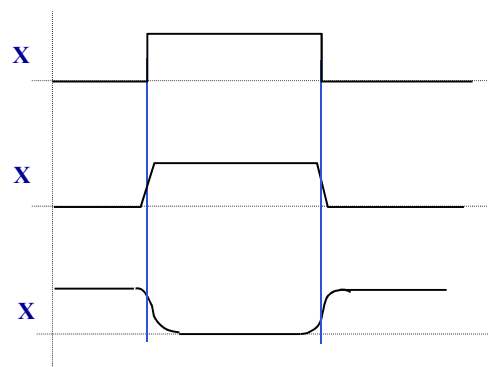
Exemplos de Diagrama de Tempos



Implementação de Circuitos Digitais

► Sinais e Formas de Onda

Representações de Formas de Onda, quanto à transição



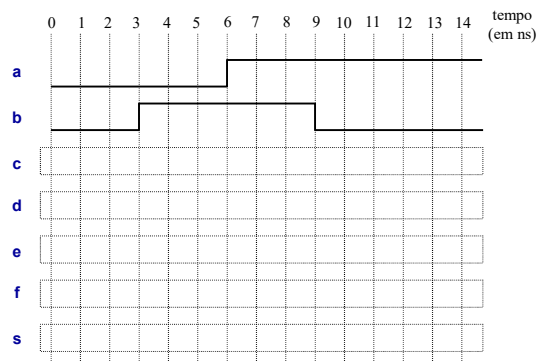
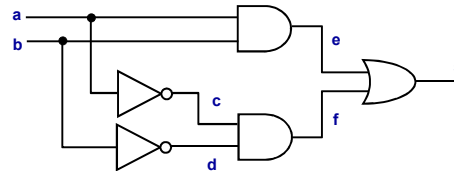
Ideal: simulação lógica e análise de timing

Ideal com rampa:
simulação nível de chaves e simulação de timing

Real: simulação elétrica

Implementação de Circuitos Digitais

Exercício 3.3: trace as formas de onda para os nós c, d, e, f, s a partir dos sinais fornecidos. Considere que as portas lógicas não têm atraso



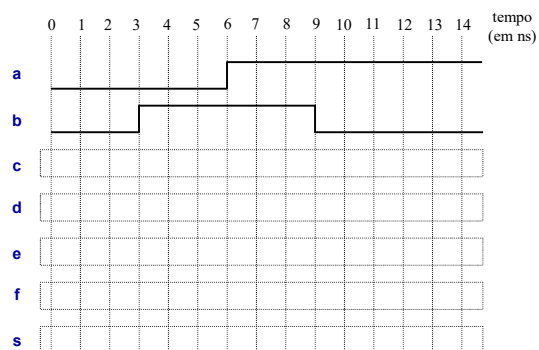
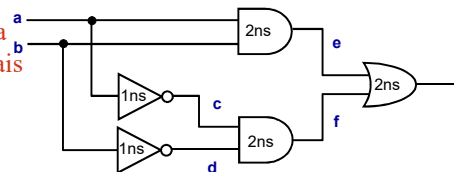
Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.19

Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

Exercício 3.4: trace as formas de onda para os nós c, d, e, f, s a partir dos sinais fornecidos. Considere que as portas lógicas têm os atrasos anotados nelas.



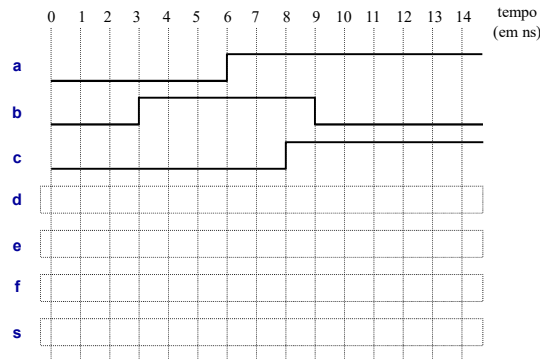
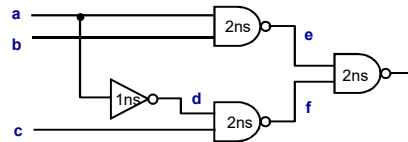
Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.20

Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

Exercício 3.5: trace as formas de onda para os nós c, d, e, f, s a partir dos sinais fornecidos. Considere que as portas lógicas têm os atrasos anotados nelas.



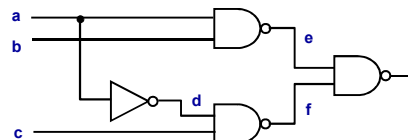
Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.21

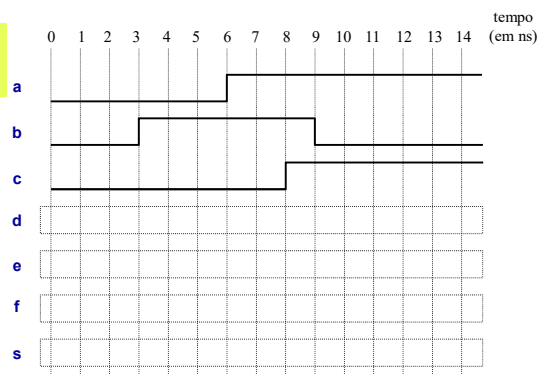
Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

Exercício 3.6: trace as formas de onda para os nós c, d, e, f, s a partir dos sinais fornecidos. Considere que as portas lógicas têm os seguintes atrasos:



INV: $t_{pHL}=t_{pLH}=1\text{ns}$
NANDs: $t_{pHL}=1\text{ns}$; $t_{pLH}=2\text{ ns}$



Computação UFPel
Circuitos Digitais

Slide T11.22

Prof. Leomar S. Rosa Jr.

Implementação de Circuitos Digitais

Exercício 3.7 trace as formas de onda para os nós c, d, e, f, s a partir dos sinais fornecidos. Considere que as portas lógicas têm atrasos pequenos (mas perceptíveis) se comparado à base de tempo.

