



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Informática e Estatística
Curso de Graduação em Ciências da Computação



Sistemas Digitais

INE 5406

Aula 13-T

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT. Estudo de Caso. Alocação de Unidades Funcionais, de Registradores, de Barramentos, *Chaining*.

Prof. José Luís Güntzel
guntzel@inf.ufsc.br

www.inf.ufsc.br/~guntzel/ine5406/ine5406.html

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

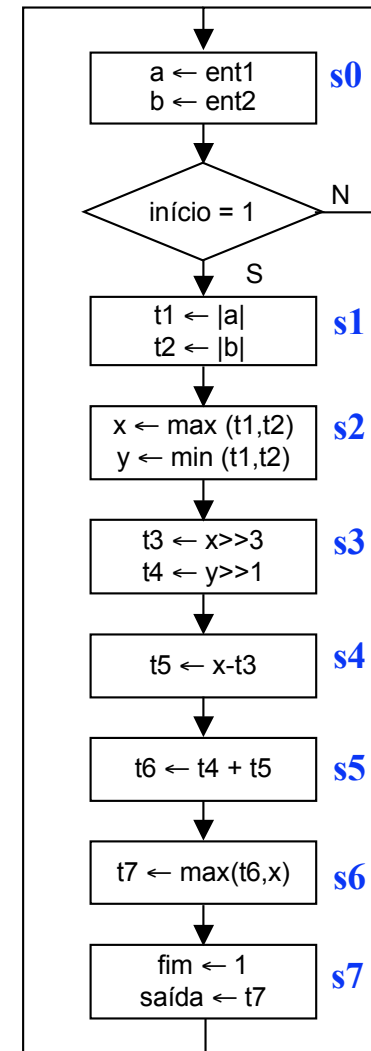
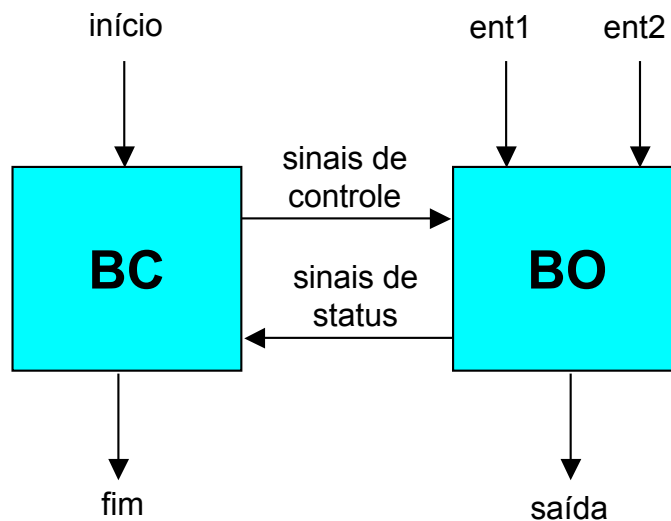
Exemplo 2

Aproximação da raiz quadrada (SRA)

$$\sqrt{a^2 + b^2} \approx \max((0,875x + 0,5y), x)$$

onde $x = \max(|a|, |b|)$ e $y = \min(|a|, |b|)$

Diagrama de blocos (interfaces)

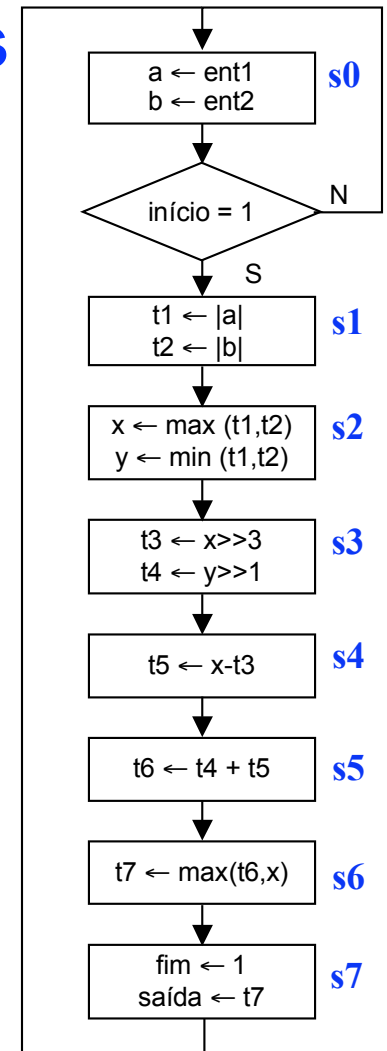


5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

Tempo de vida das variáveis

Variável ↓ / estado →	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
a								
b								
t1								
t2								
x								
y								
t3								
t4								
t5								
t6								
t7								
número de variáveis vivas								



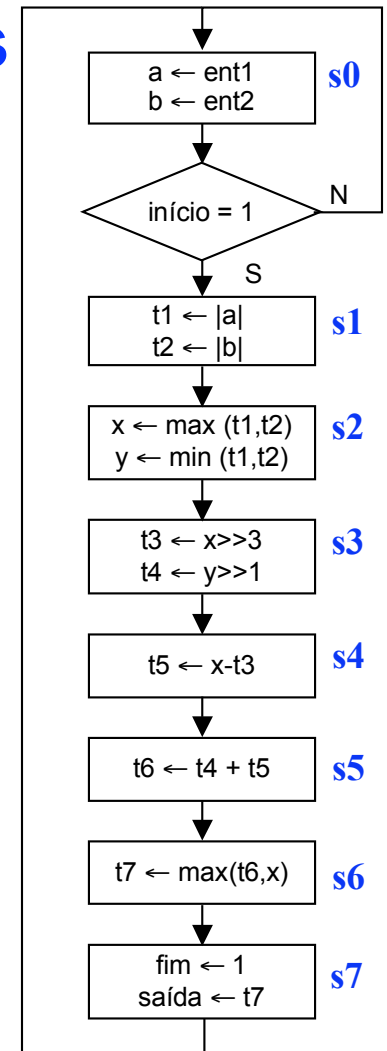
5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

Tempo de vida das variáveis

Variável ↓ / estado →	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
a		X						
b		X						
t1			X					
t2			X					
x				X	X	X	X	
y				X				
t3					X			
t4					X	X		
t5						X		
t6							X	
t7								X
número de variáveis vivas	0	2	2	2	3	3	2	1

Número mínimo de registradores = 3

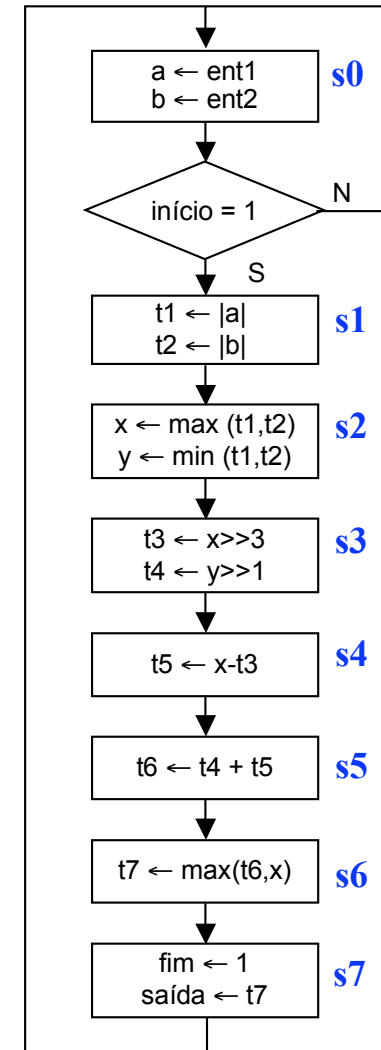


5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Alocação de Unidades Funcionais

Tabela de uso dos operadores

Estado→ ↓ Operação	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	número max. de unidades por estado
		2							2
min			1						1
max			1				1		1
>>1				1					1
>>3				1					1
-					1				1
+						1			1
número de operações	0	2	2	2	1	1	1		



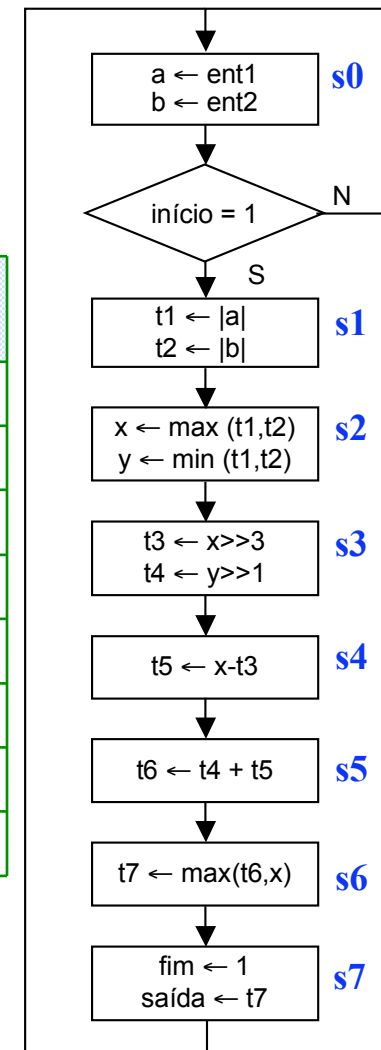
5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Rede de Interconexão (Alocação de Barramentos e/ou Seletores)

Tabela de Conectividade

Variável → ↓ operação	a	b	t1	t2	x	y	t3	t4	t5	t6	t7
	I		O								
		I		O							
max			I	I	I/O					I	O
min			I	I		O					
>>3					I		O				
>>1						I		O			
-					I		I		O		
+								I	I	O	

Conexões de entrada: **14** Conexões de saída: **9** Total: **23**
 Porém, apenas algumas poucas são usadas a cada estado.

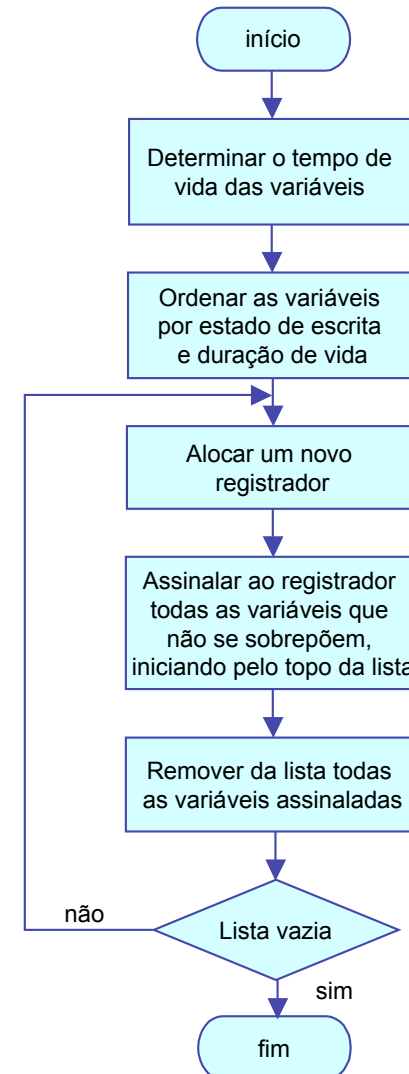


5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

O algoritmo *left-edge*

- Agrupamento de variáveis
- Compartilhamento de registradores



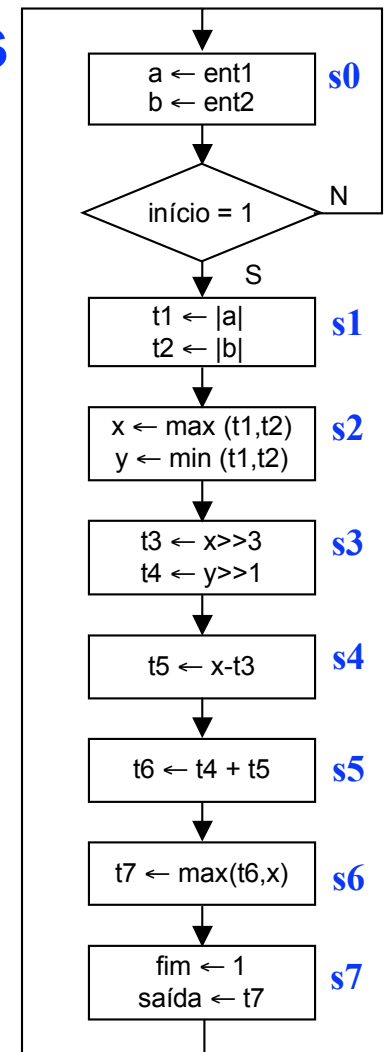
5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Alocação de Registradores

Tempo de vida das variáveis

Variável ↓ / estado →	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
a		X						
b		X						
t1			X					
t2			X					
x				X	X	X	X	
y				X				
t3					X			
t4					X	X		
t5						X		
t6							X	
t7								X
número de variáveis vivas	0	2	2	2	3	3	2	1

Número mínimo de registradores = 3

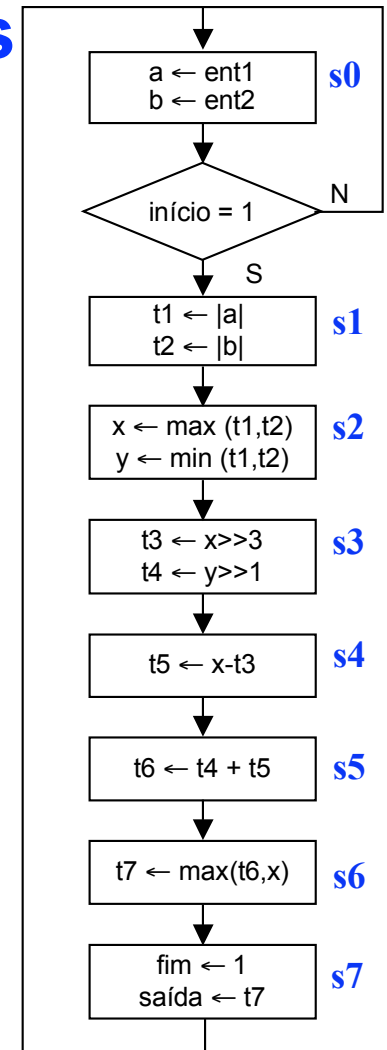


5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Alocação de Registradores

Lista ordenada das variáveis, segundo o algoritmo *left-edge*

Variável ↓ / estado →	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
a		X						
b		X						
t1			X					
t2			X					
x				X	X	X	X	
y				X				
t4					X	X		
t3					X			
t5						X		
t6							X	
t7								X
número de variáveis vivas	0	2	2	2	3	3	2	1



5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

- Alocar um novo registrador
- Assinalar ao registrador todas as variáveis que não se sobrepõem, iniciando pelo topo da lista

Variável ↓ / estado →	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
a		X						
b		X						
t1			X					
t2			X					
x				X	X	X	X	
y				X				
t4					X	X		
t3					X			
t5						X		
t6							X	
t7								X
número de variáveis vivas	0	2	2	2	3	3	2	1

R1:
a, t1, x, t7

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

- Retirando da lista as variáveis já agrupadas

Variável ↓ / estado →	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
b		X						
t2			X					
y				X				
t4					X	X		
t3					X			
t5						X		
t6							X	
número de variáveis vivas	0	2	2	2	3	3	2	1

R1:
a, t1, x, t7

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

- Alocar um novo registrador
- Assinalar ao registrador todas as variáveis que não se sobrepõem, iniciando pelo topo da lista

Variável ↓ / estado →	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
b		X						
t2			X					
y				X				
t4					X	X		
t3					X			
t5						X		
t6							X	
número de variáveis vivas	0	2	2	2	3	3	2	1

R1:

a, t1, x, t7

R2:

b, t2, y, t4, t6

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

- Retirando da lista as variáveis já agrupadas

Variável ↓ / estado →	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
t3					x			
t5						x		
número de variáveis vivas	0	2	2	2	3	3	2	1

R1:
a, t1, x, t7

R2:
b, t2, y, t4, t6

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

- Alocar um novo registrador
- Assinalar ao registrador todas as variáveis que não se sobrepõem, iniciando pelo topo da lista

Variável ↓ / estado →	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
t3					x			
t5						x		
número de variáveis vivas	0	2	2	2	3	3	2	1

R1:
a, t1, x, t7

R2:
b, t2, y, t4, t6

R3:
t3, t5

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

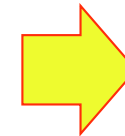
▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

- Retirando da lista as variáveis já agrupadas

Lista Vazia! (Fim do Algoritmo...)

Variável ↓ / estado →	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
número de variáveis vivas	0	2	2	2	3	3	2	1

Assinalamento de variáveis



R1:
a, t1, x, t7

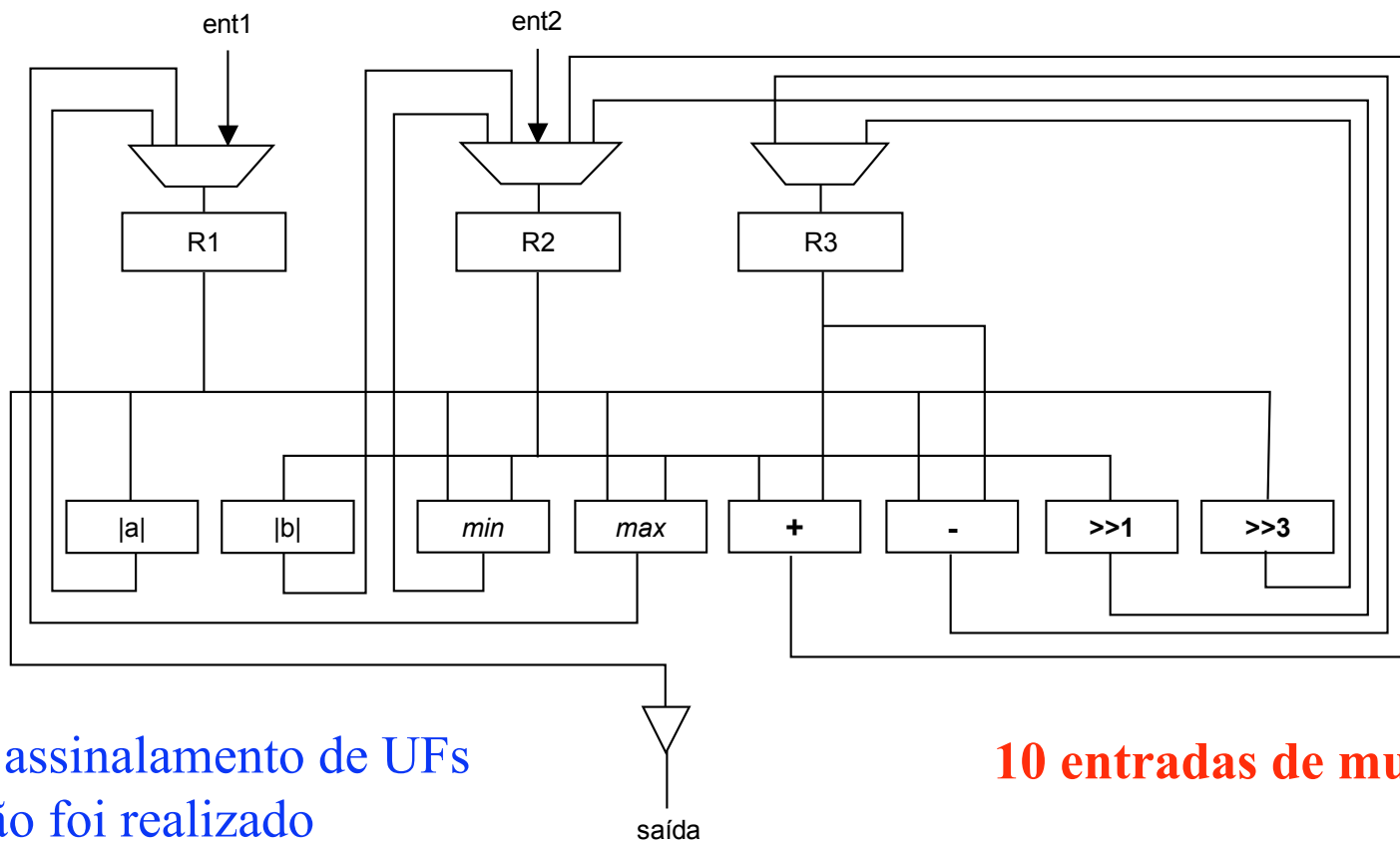
R2:
b, t2, y, t4, t6

R3:
t3, t5

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

Bloco Operativo resultante da aplicação do algoritmo *left-edge*



OBS: o assinalamento de UFs ainda não foi realizado

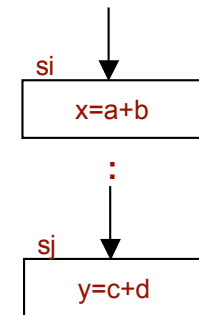
10 entradas de mux

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

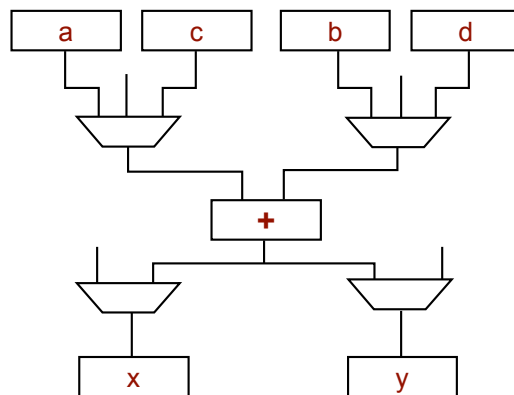
▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

Filosofia:

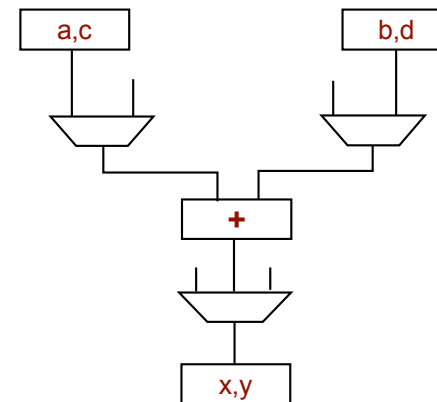
- Priorizar o agrupamento de variáveis que possuem fontes e/ou destinos comuns (para reduzir o número de entradas de mux)



(a) Fluxograma parcial



(b) Bloco operativo sem compartilhamento de registradores (10 entradas de mux)



(c) Bloco operativo com compartilhamento de registradores (7 entradas de mux)

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

Uso de grafo de compatibilidade

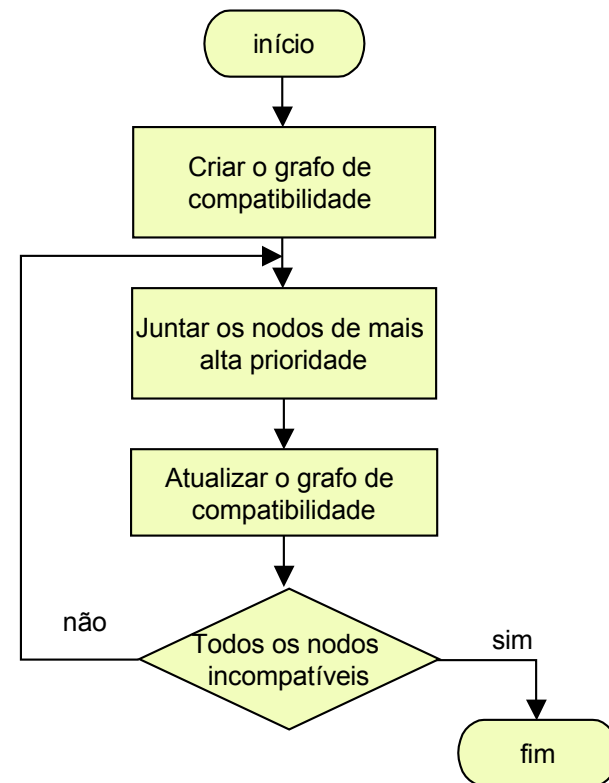
- Cada variável é representada por um nodo
- Aresta de incompatibilidade entre dois nodos (aresta pontilhada): indica variáveis cujos tempos de vida se sobrepõem
- Aresta de prioridade entre dois nodos: indica variáveis com tempos de vida que não se sobrepõem e que sevem como fonte ou como destino para as mesmas unidades funcionais

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

- Agrupamento de variáveis
- Compartilhamento de registradores

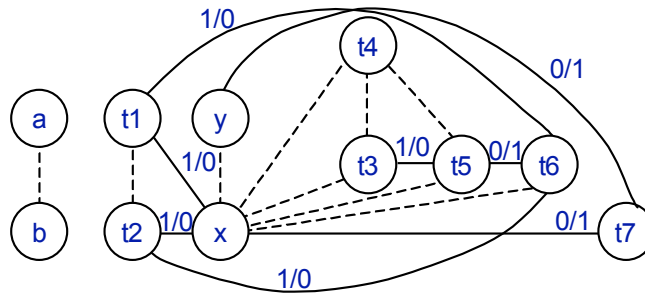
O algoritmo de Particionamento do grafo de compatibilidade



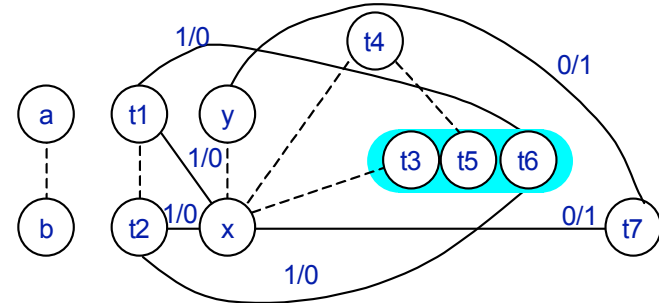
5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Assumindo:

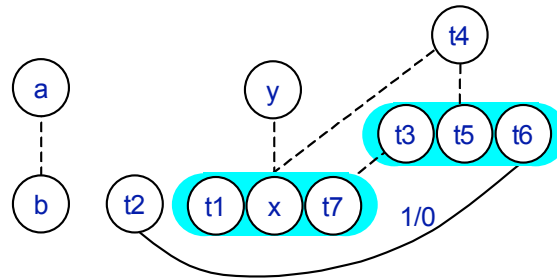
- Min/max
- +/-
- >>1 / >>3



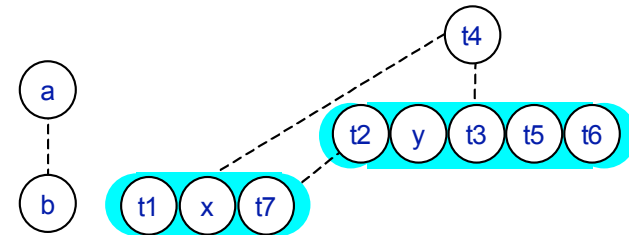
(a) Grafo de compatibilidade inicial



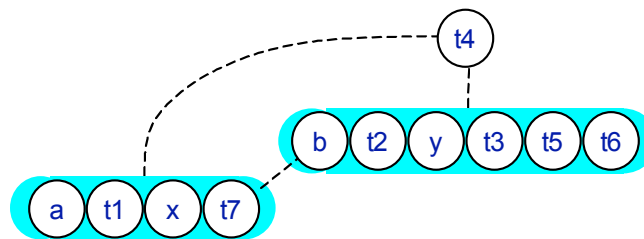
(b) Grafo de compatibilidade após agrupar t3, t5 e t6



(c) Grafo de compatibilidade após agrupar t1, x e t7



(d) Grafo de compatibilidade após agrupar t2 e y



(e) Grafo de compatibilidade final
slide 13T.20

$$R1 = [a , t1 , x , t7]$$

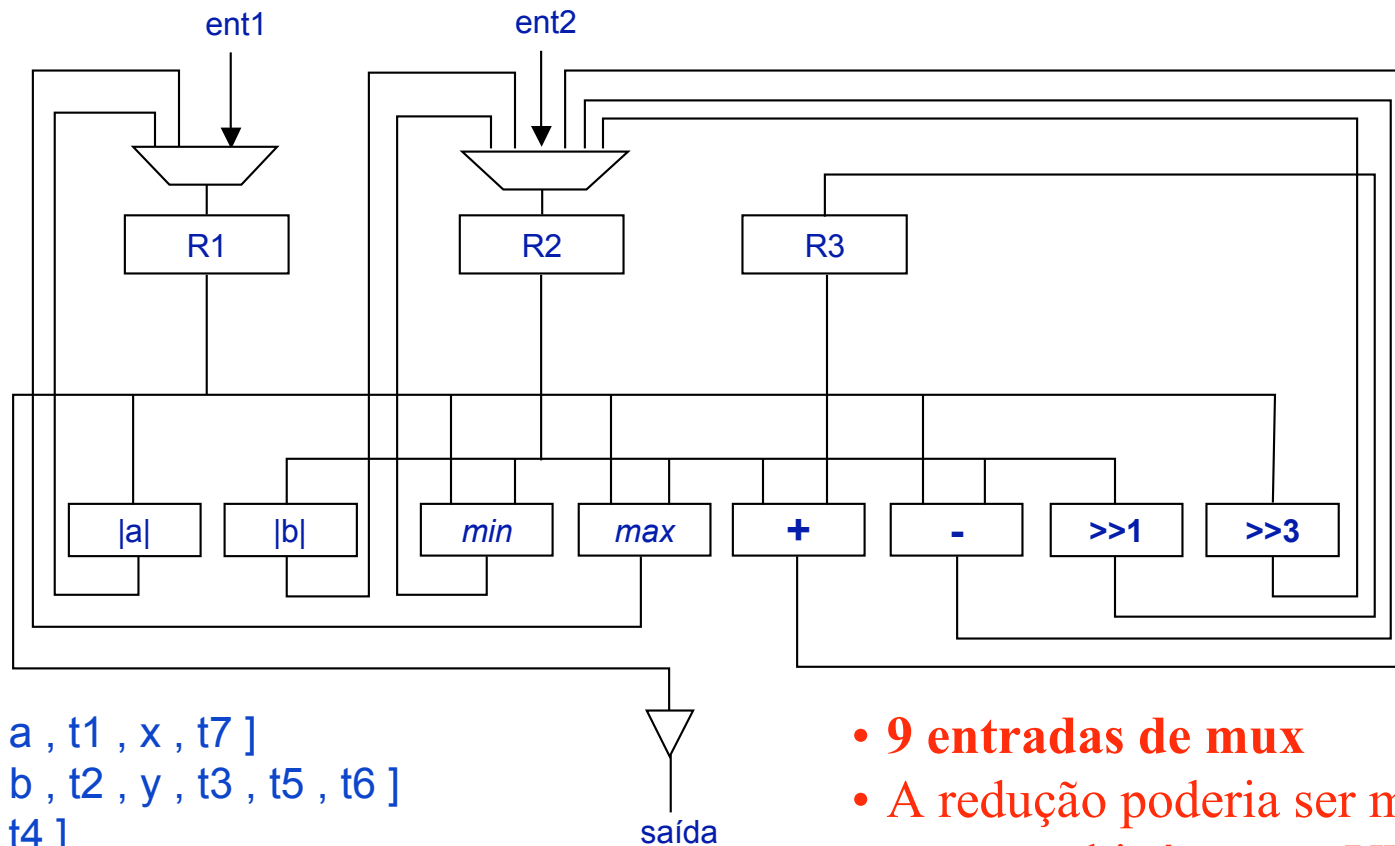
$$R2 = [b , t2 , y , t3 , t5 , t6]$$

$$R3 = [t4]$$

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Registradores

Bloco Operativo Resultando do Algoritmo de Particionamento



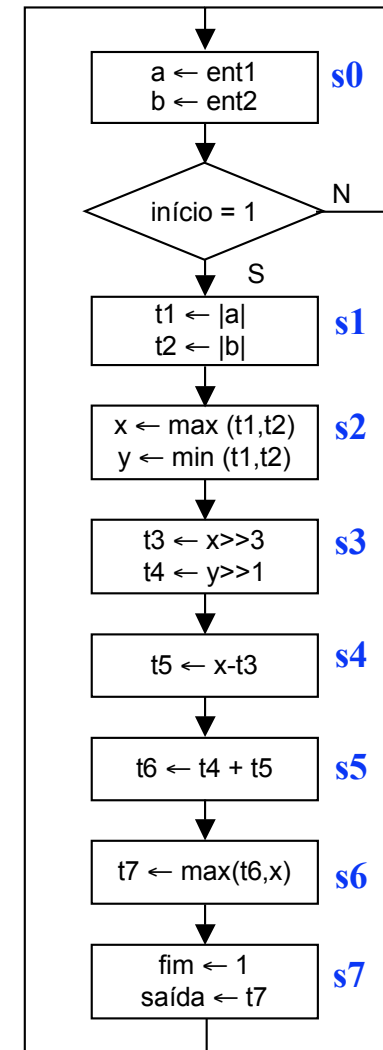
- 9 entradas de mux
- A redução poderia ser maior caso combinássemos UFs

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Alocação de UFs

Tabela de uso dos operadores

Estado→ ↓ Operação	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	número max. de unidades por estado
		2							2
min			1						1
max			1				1		1
>>1				1					1
>>3				1					1
-					1				1
+						1			1
número de operações	0	2	2	2	1	1	1		



5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de UFs

Tabela de uso dos operadores

Estado→ ↓ Operação	s0	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	número max. de unidades por estado
		2							2
min			1						1
max			1				1		1
>>1				1					1
>>3				1					1
-					1				1
+						1			1
número de operações	0	2	2	2	1	1	1		

Solução trivial:

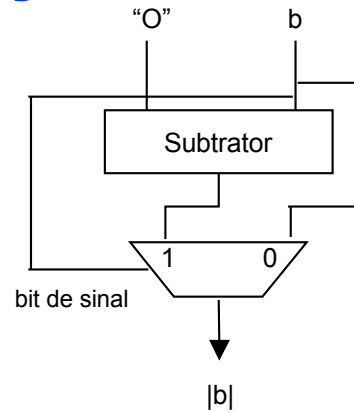
- 2 ||
- 1 min
- 1 max
- 1 >>1
- 1 >>3
- 1 +
- 1 -

Será que há alguma vantagem em agrupar operadores?

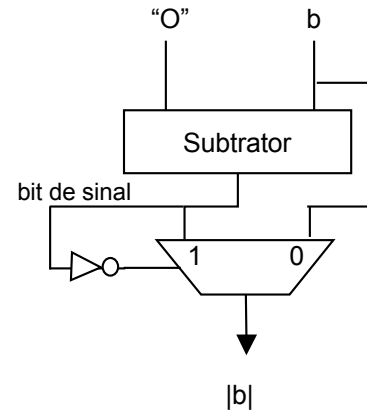
5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Alocação de UFs

Opções para valor absoluto

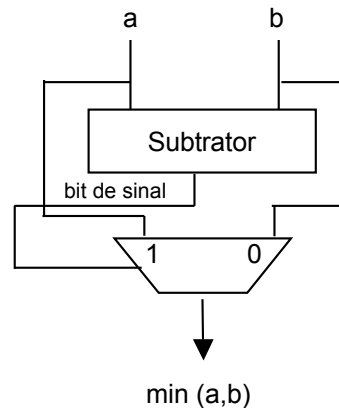


(a) Unidade de valor absoluto (versão 1)

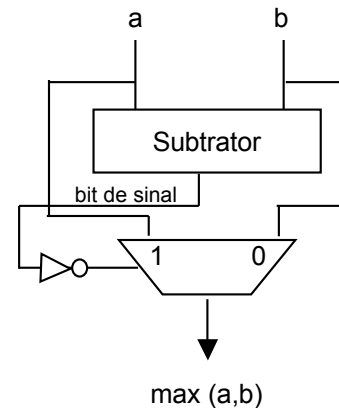


(b) Unidade de valor absoluto (versão 2)

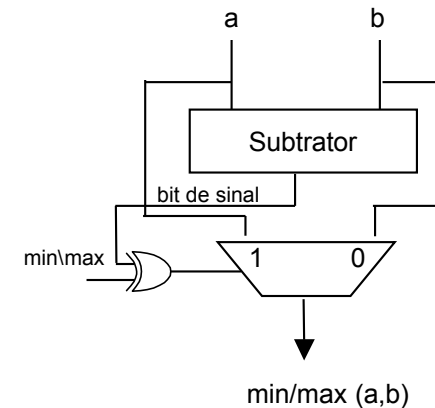
Opções para max e min



(c) Unidade min(a,b)



(d) Unidade max(a,b)

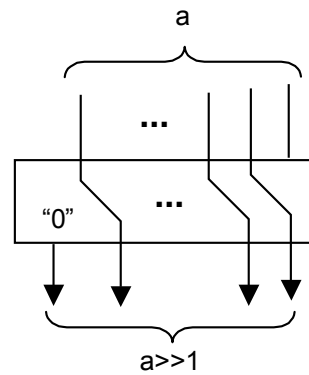


(e) Unidade min(a,b)/max(a,b)

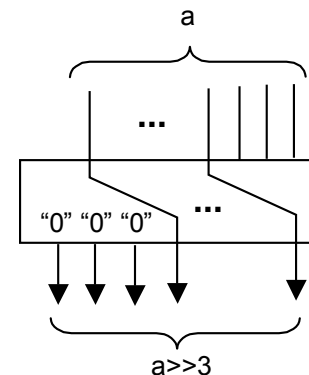
5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de UFs

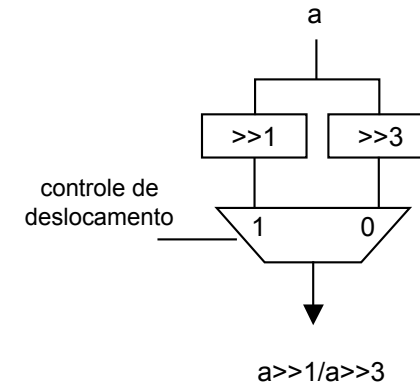
Opções para
 $\gg 1$ e $\gg 3$



(f) Deslocador de 1 bit

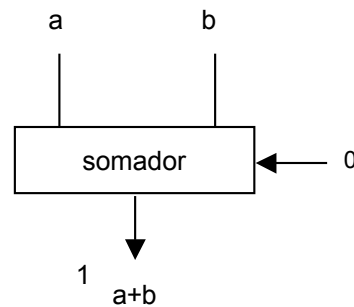


(g) Deslocador de 3 bits

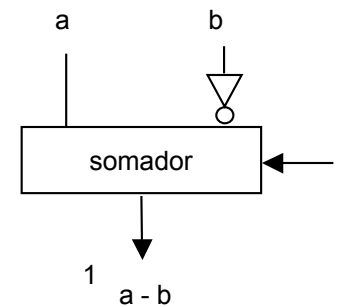


(h) Deslocador de 1 e de 3 bits

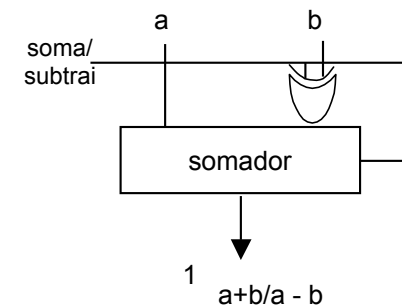
Opções para
 $+$ e $-$



(i) somador



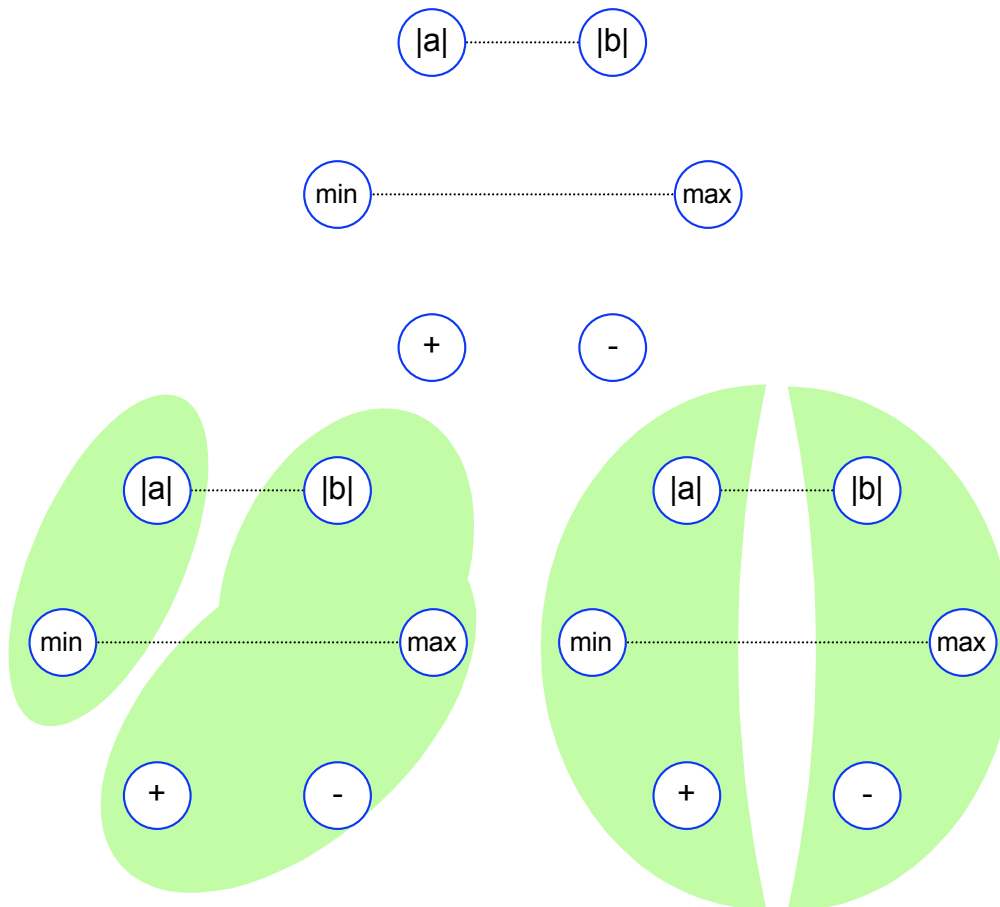
(j) subtrator



(k) somador/subtrator

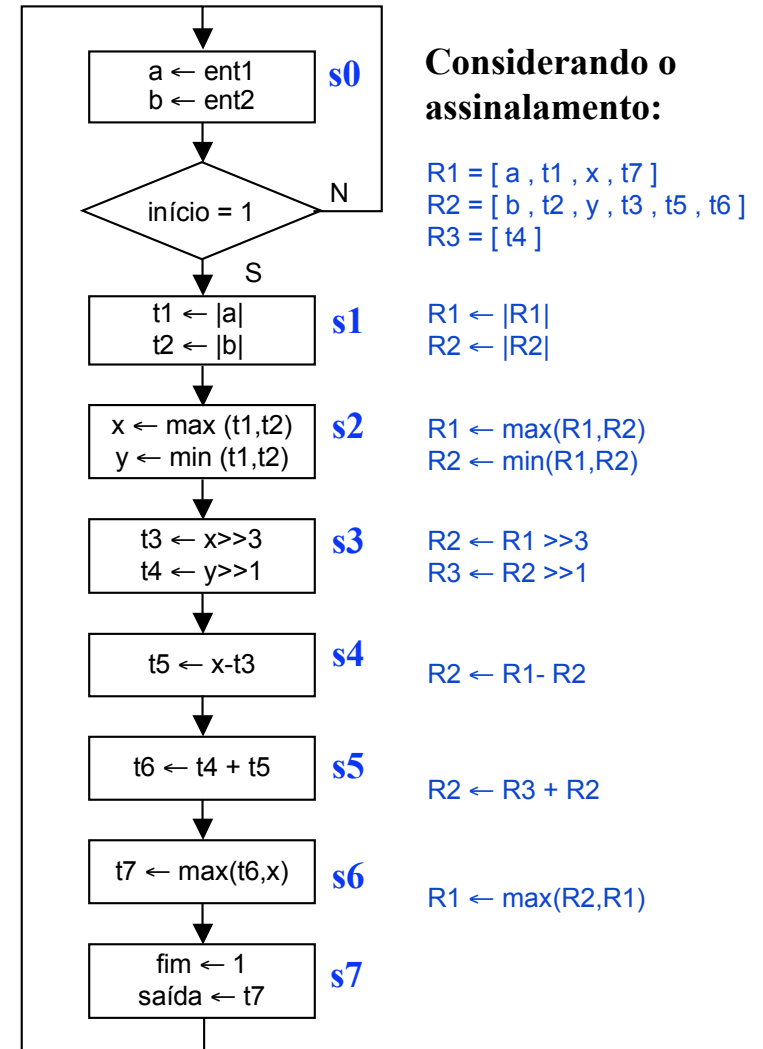
5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Alocação de UFs Considerando Incompatibilidades



INE/CTC/UFSC
Sistemas Digitais - semestre 2007/2

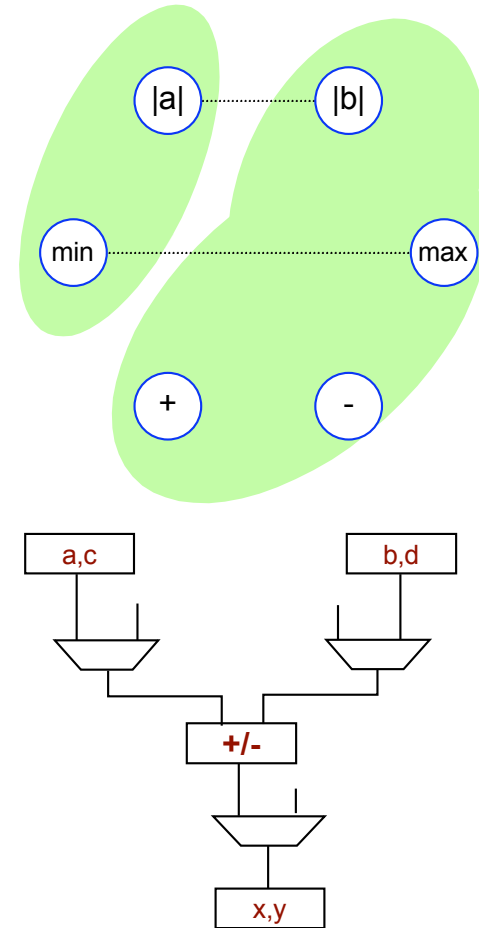
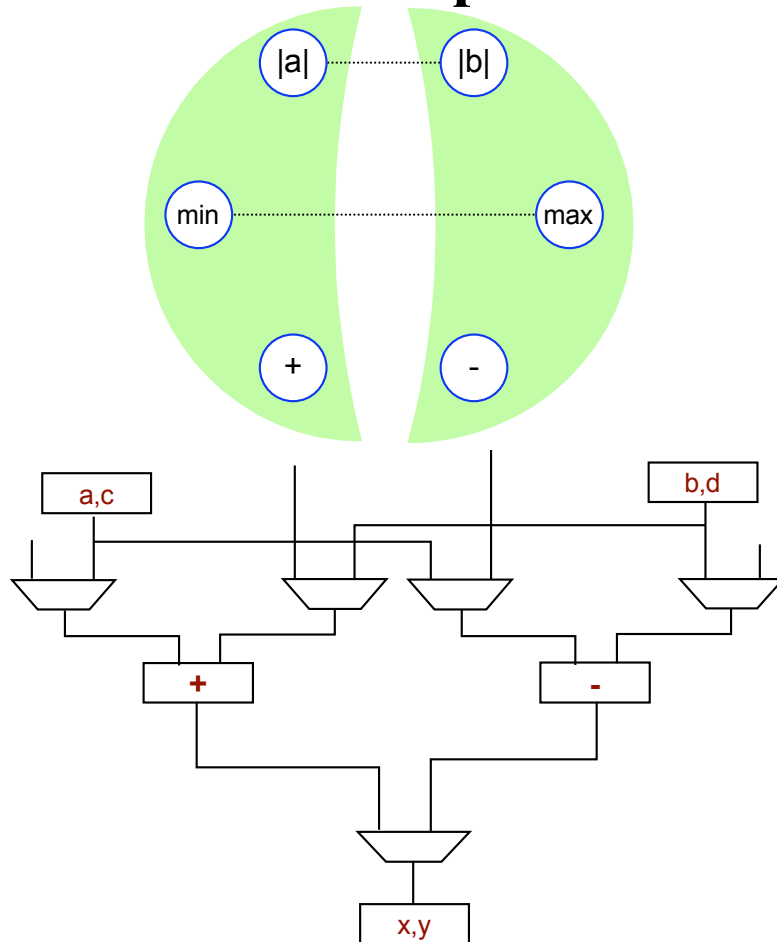
slide 13T.26



Prof. José Luís Güntzel

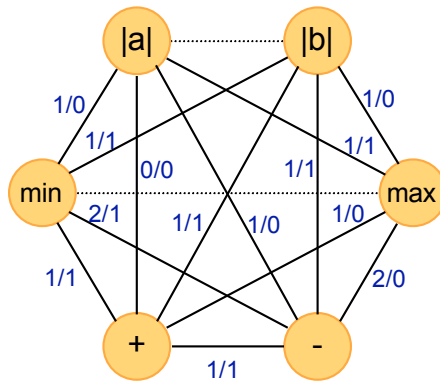
5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de UFs Considerando Incompatibilidades

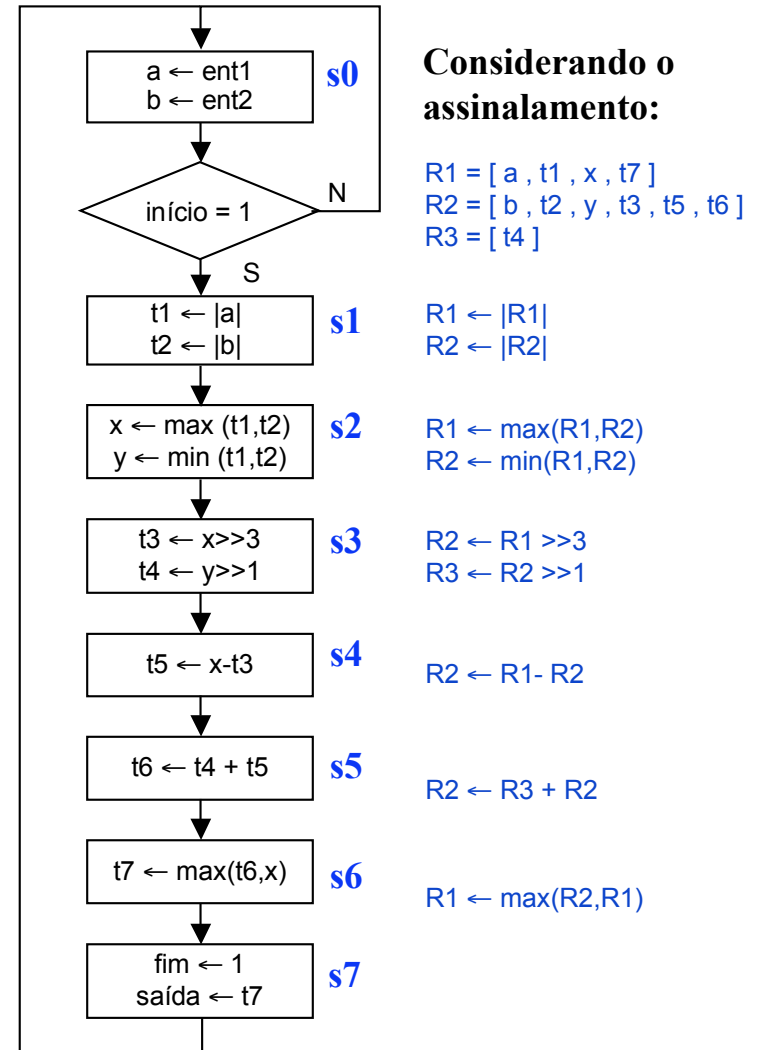
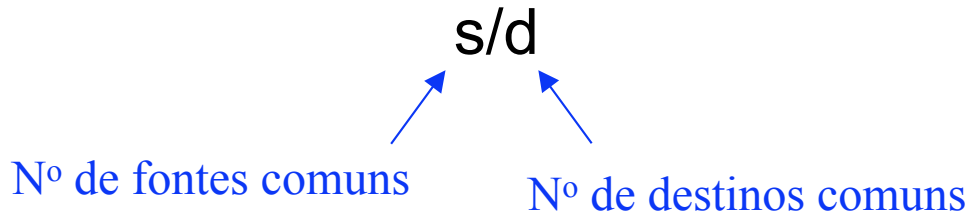


5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Alocação de UFs Construção do grafo de restrições



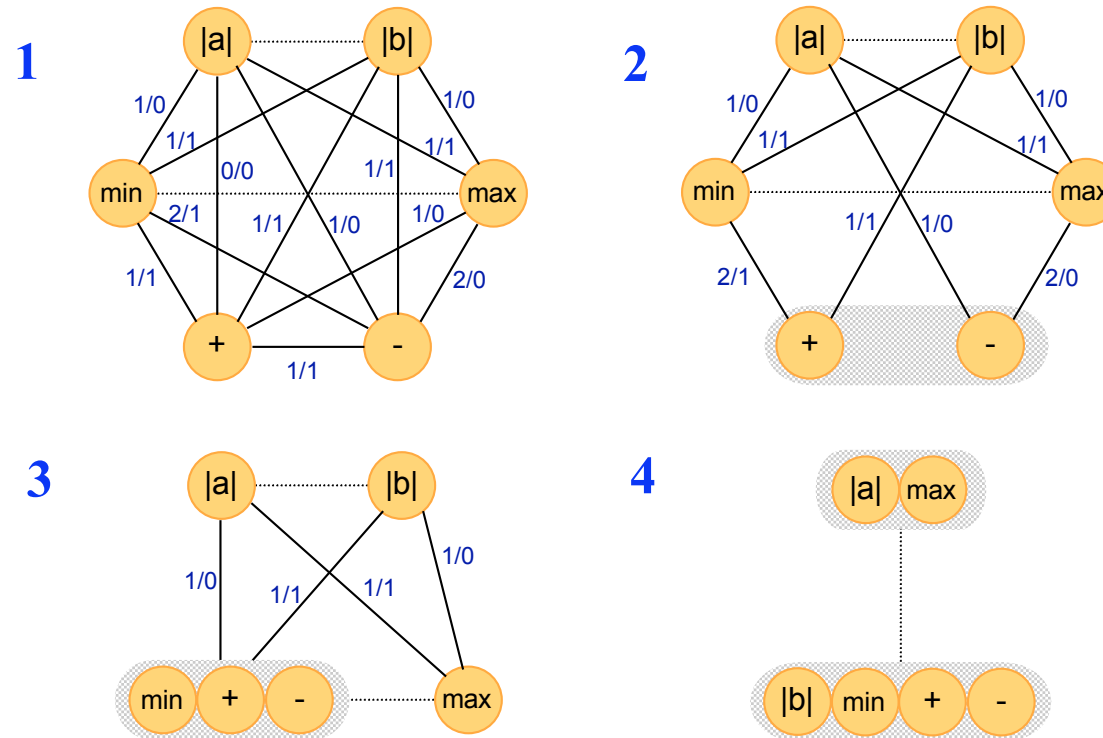
Pesos das arestas:



Considerando o assinalamento:
 $R1 = [a, t1, x, t7]$
 $R2 = [b, t2, y, t3, t5, t6]$
 $R3 = [t4]$

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de UFs Particionamento do grafo de restrições



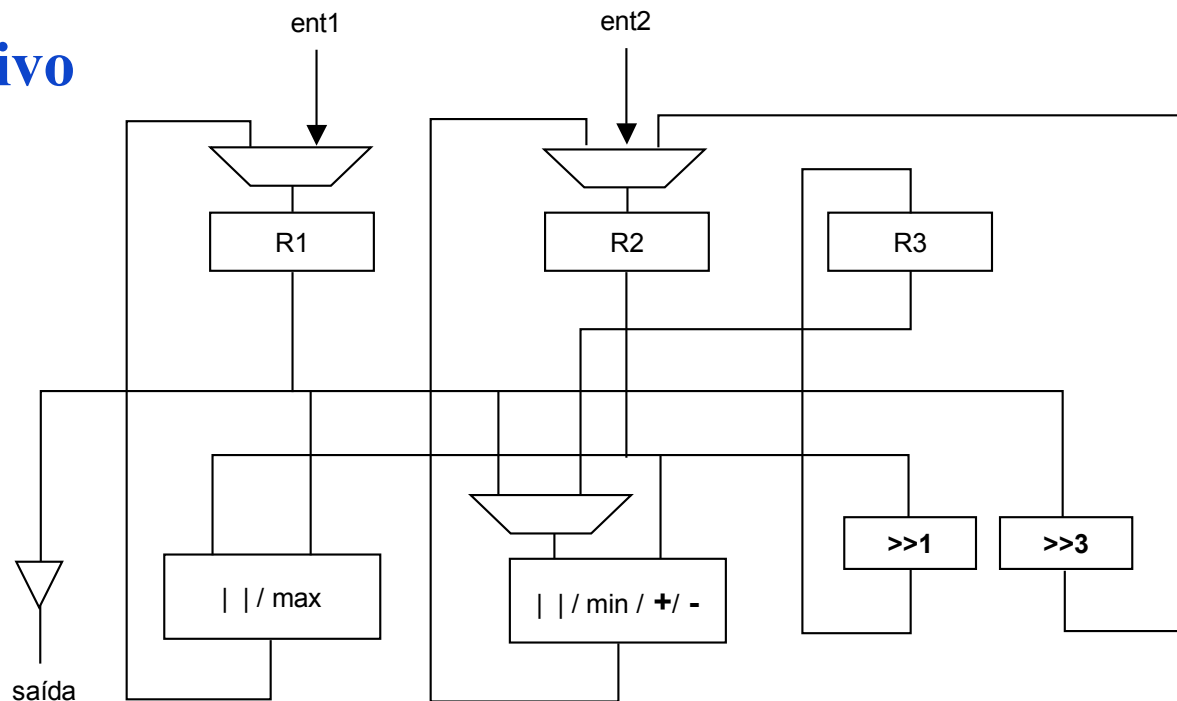
Resultado: UA1 = [|b| / min / + / -]
UA2 = [|a| / max]

DESL1 = [>>1]
DESL2 = [>>3]

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de UFs

Bloco operativo
resultante



7 entradas de mux

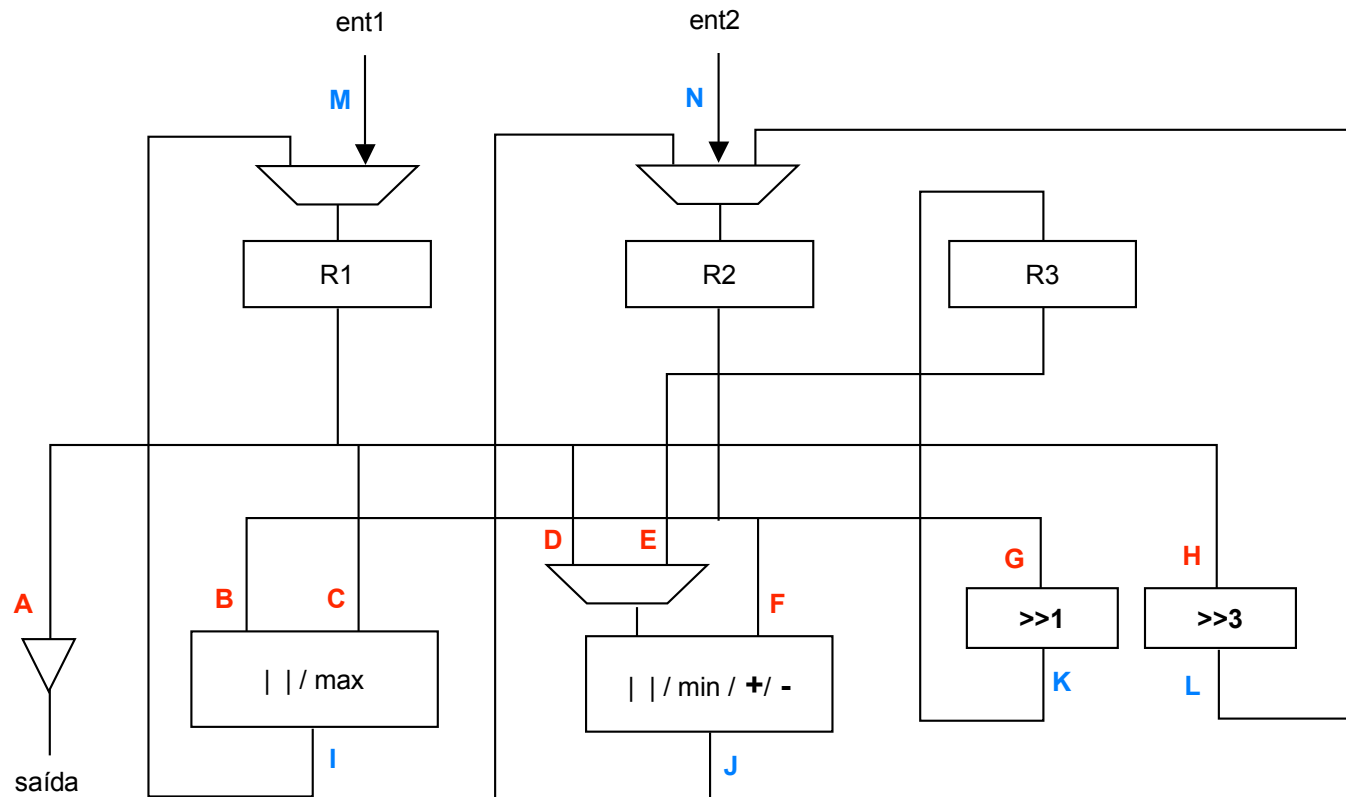
R1 = [a , t1 , x , t7]
R2 = [b , t2 , y , t3 , t5 , t6]
R3 = [t4]

UA1 = [|b| / min / + / -]
UA2 = [|a| / max]

DESL1 = [>>1]
DESL2 = [>>3]

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Alocação de Barramentos



5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

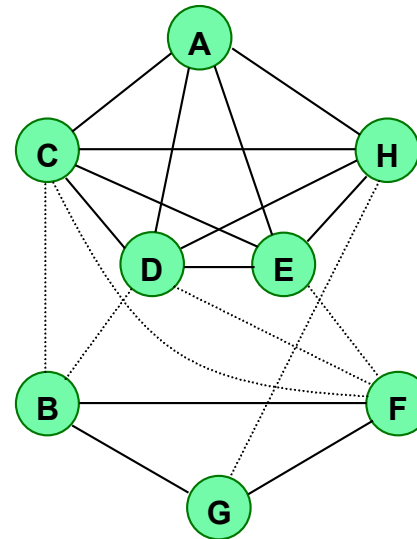
▶ Exemplo 2: Alocação de Barramentos

Grafo de Restrições

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
A								X
B			X				X	
C		X	X				X	
D			X		X			
E						X		
F		X	X		X	X		
G				X				
H				X				
I		X	X				X	
J		X	X		X	X		
K				X				
L				X				
M	X							
N	X							

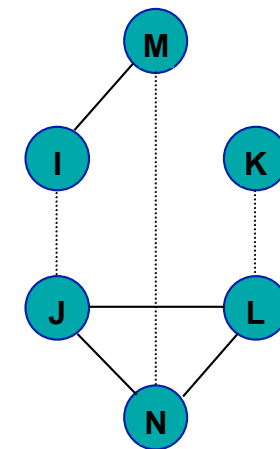
conexões de entrada:

ligam saídas de registradores a entradas de unidades funcionais



conexões de saída:

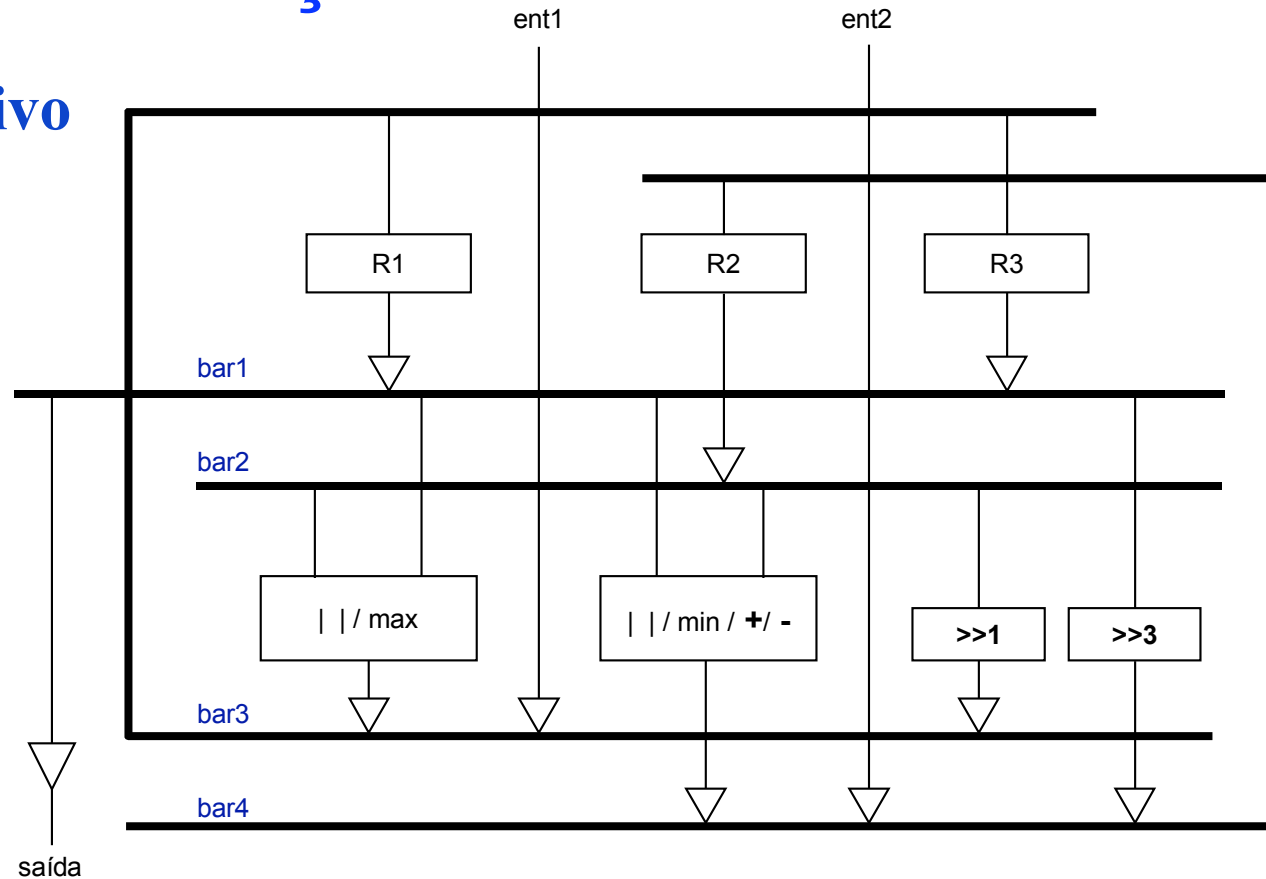
ligam saídas de unidades funcionais a entradas de registradores



5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Alocação de Barramentos

Bloco operativo resultante



bar1 = [A , C , D , E , H]
bar2 = [B , F , G]

bar3 = [I , K , M]
bar4 = [J , L , N]

R1 = [a , t1 , x , t7]
R2 = [b , t2 , y , t3 , t5 , t6]
R3 = [t4]

nenhum mux

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Agrupamento de Registradores

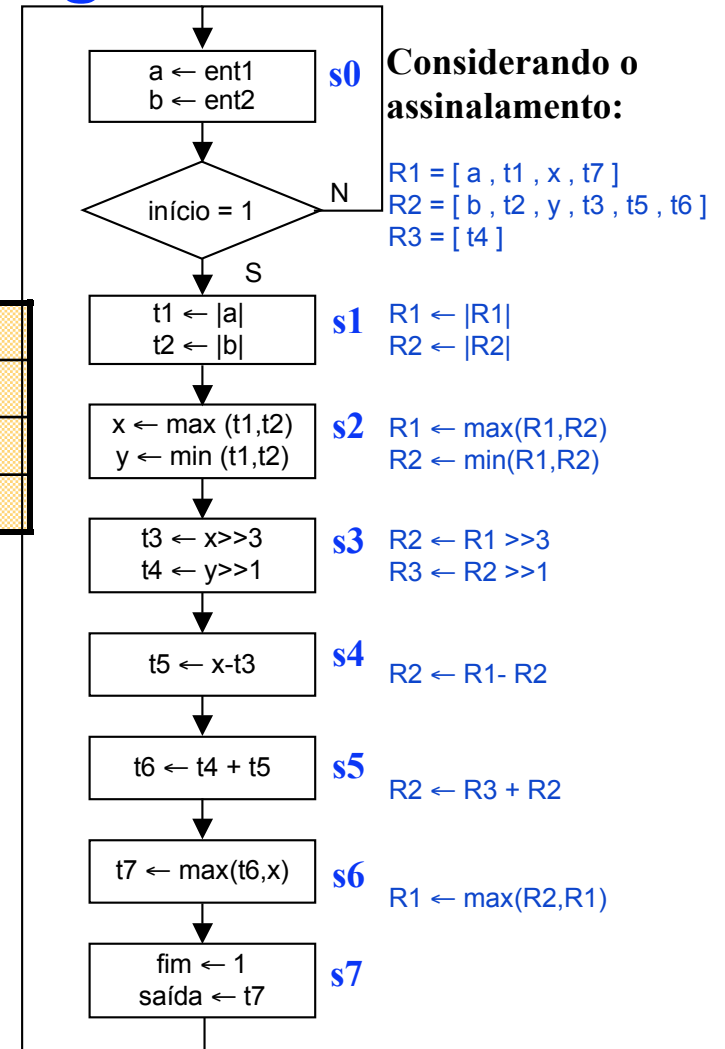
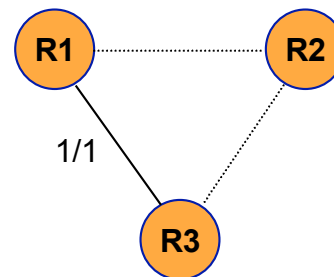
Tabela de acessos aos registradores

borda ascendente do relógio (troca de estado)

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
R1		▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶
R2		▶	▶	▶	▶	▶	▶	
R3				▶	▶			

▶ escrita ▶ leitura

Grafo de restrições

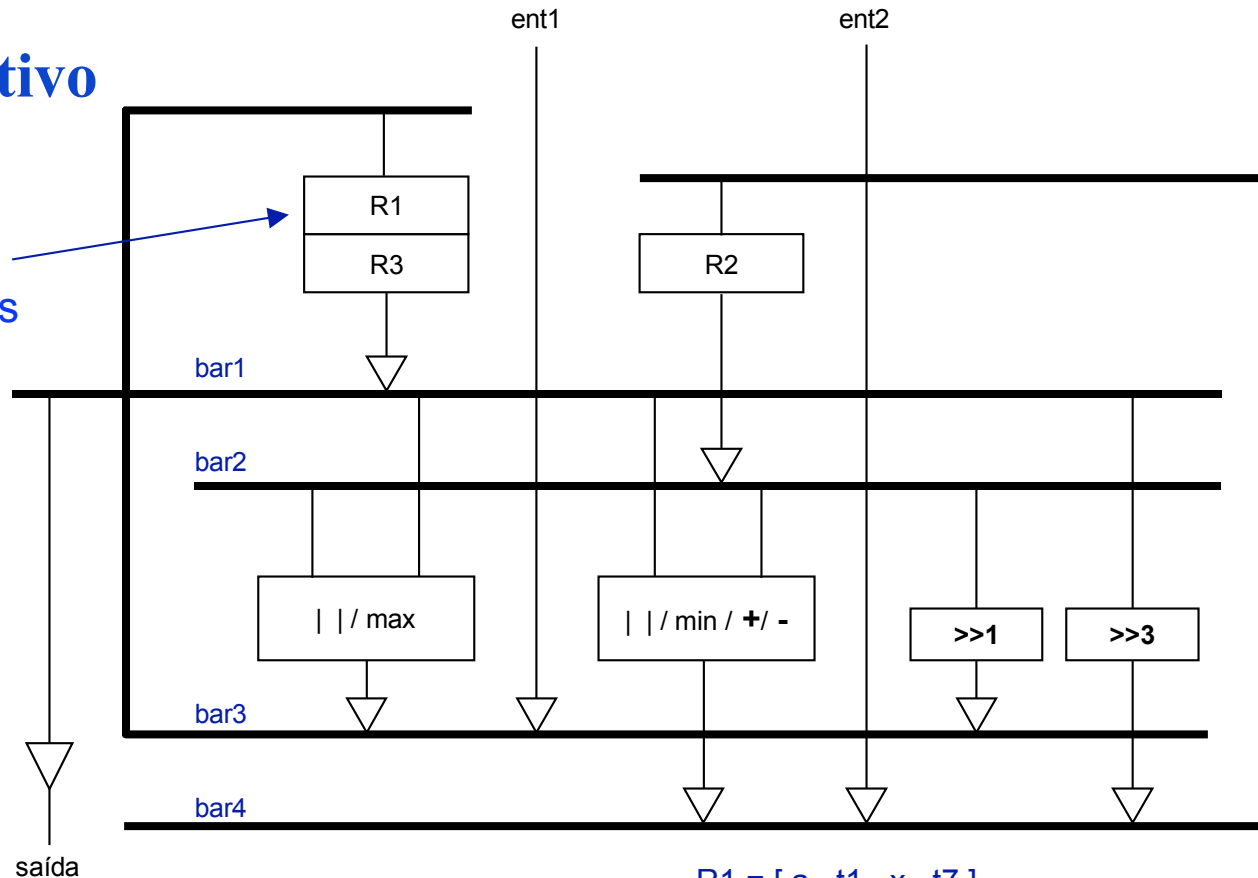


5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

▶ Exemplo 2: Agrupamento de Registradores

Bloco operativo
resultante

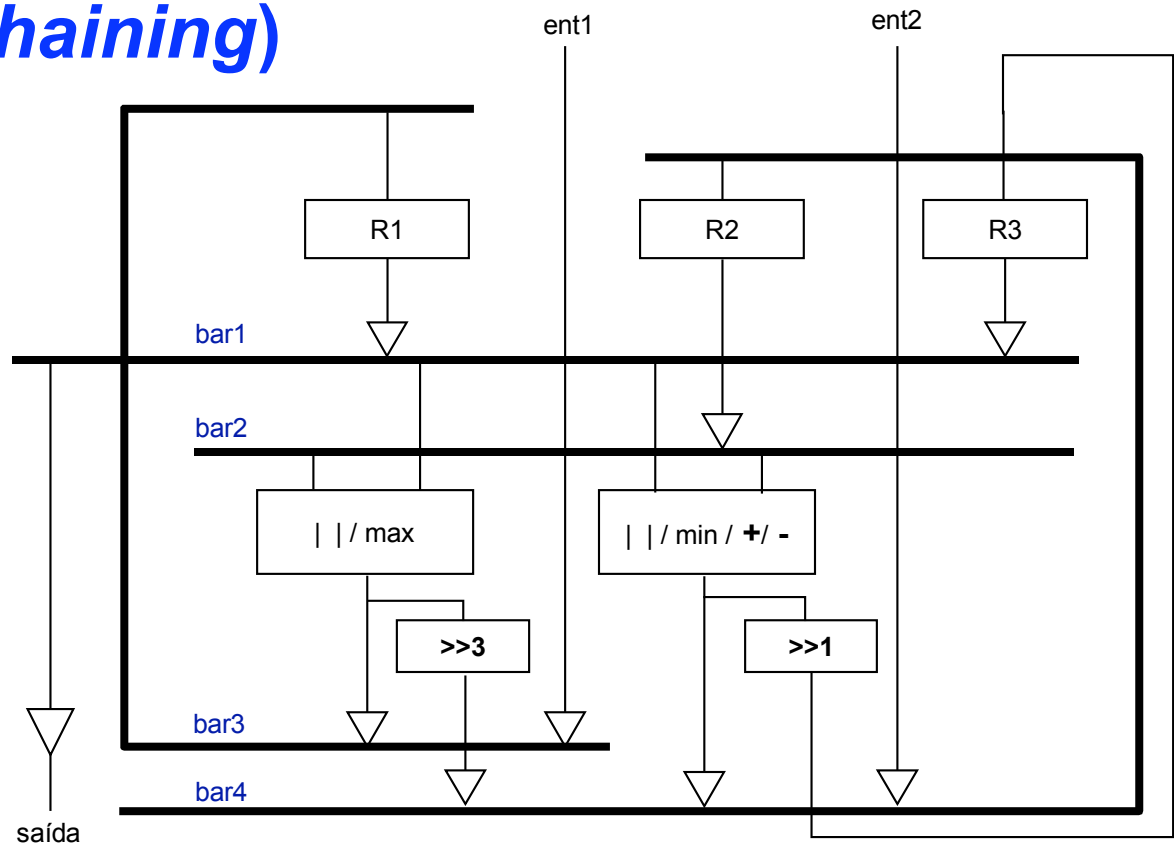
banco de
registradores



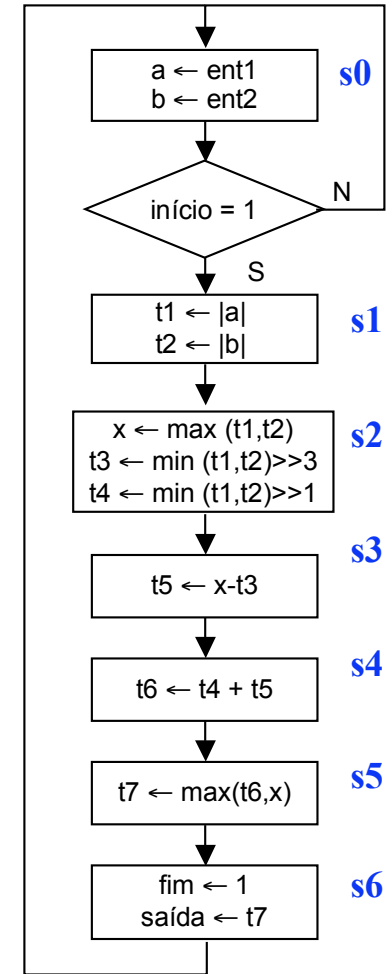
R1 = [a , t1 , x , t7]
R2 = [b , t2 , y , t3 , t5 , t6]
R3 = [t4]

5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Encadeamento de Operações (Chaining)

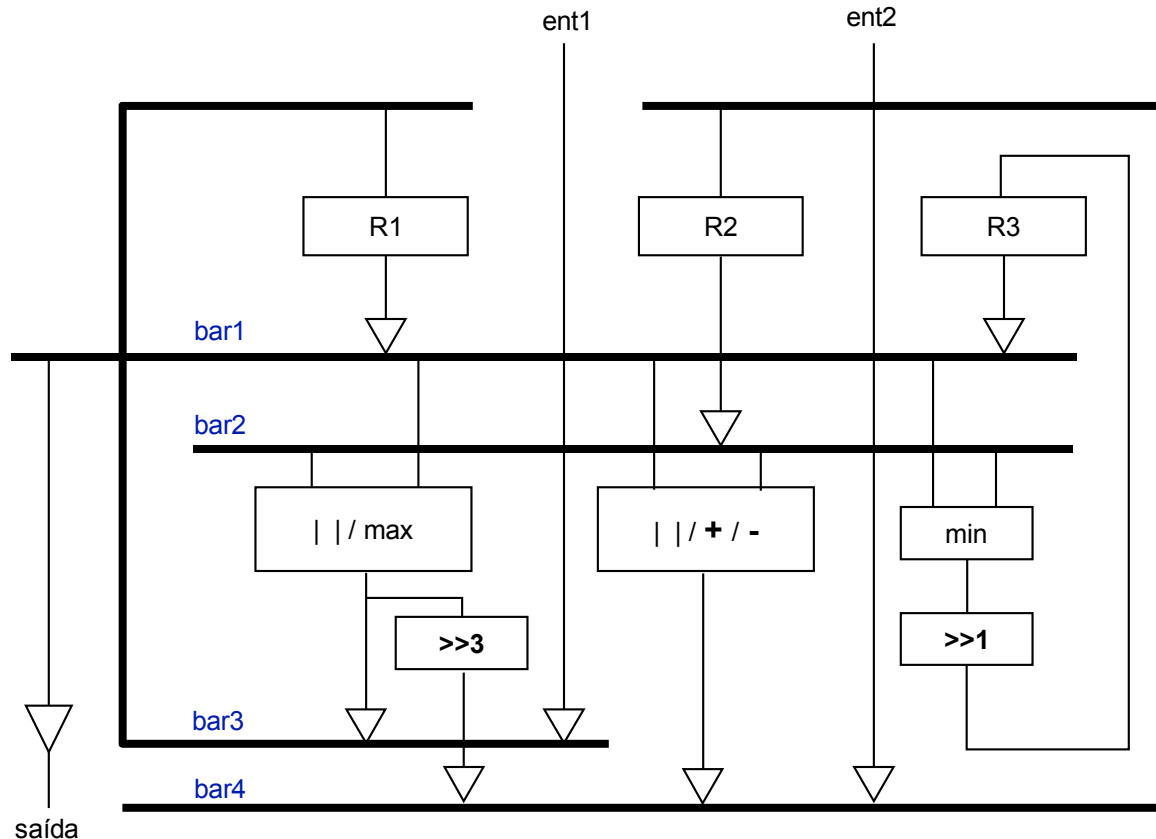


R1 = [a , t1 , x , t7]
 R2 = [b , t2 , y , t3 , t5 , t6]
 R3 = [t4]



5. Projeto de Sistemas Digitais no Nível RT

Exemplo 2: Multiciclos



$R1 = [a , t1 , x , t7]$
 $R2 = [b , t2 , y , t3 , t5 , t6]$
 $R3 = [t4]$

