



# Universidade Federal de Santa Catarina

Departamento de Informática e Estatística  
Bacharelado em Ciências da Computação

INE5406 - Sistemas Digitais – semestre 2011/1

Prof. José Luís Guntzel guntzel@inf.ufsc.br www.inf.ufsc.br/~guntzel



## 3ª Prova Semestral (05/07/2011)

Nome: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Matrícula: \_\_\_\_\_

### Instruções e definição de critério de avaliação:

- A interpretação das questões é parte integrante desta avaliação.
- Utilizar as convenções vistas em aula.
- As respostas devem ser fornecidas nos espaços a elas reservados, junto aos enunciados das respectivas questões. Respostas fora destes espaços não serão consideradas. Ao final desta prova há uma folha de “rascunho autorizado”.
- Nas questões que solicitam resposta e justificativa, a pontuação será obtida somente se a resposta e a respectiva justificativa estiverem corretas.
- Todas as questões são pontuadas com valores múltiplos de 0,5.
- O tempo de prova esgota-se pontualmente às 17:40.

### Questão 1 (valor total: 6,0 pontos)

A Fig. 1a mostra as interfaces do sistema digital “Interpola”. A memória “Mem\_A” armazena um bloco de 256 pixels pertencente a um quadro (bloco A), ao passo que a memória “Mem\_B” armazena um bloco de 256 pixels pertencente a outro quadro (bloco B). A memória “Mem\_I” armazenará um bloco de 256 pixels correspondente ao resultado da execução. Cada pixel é representado por um número binário inteiro sem sinal, com 8 bits.

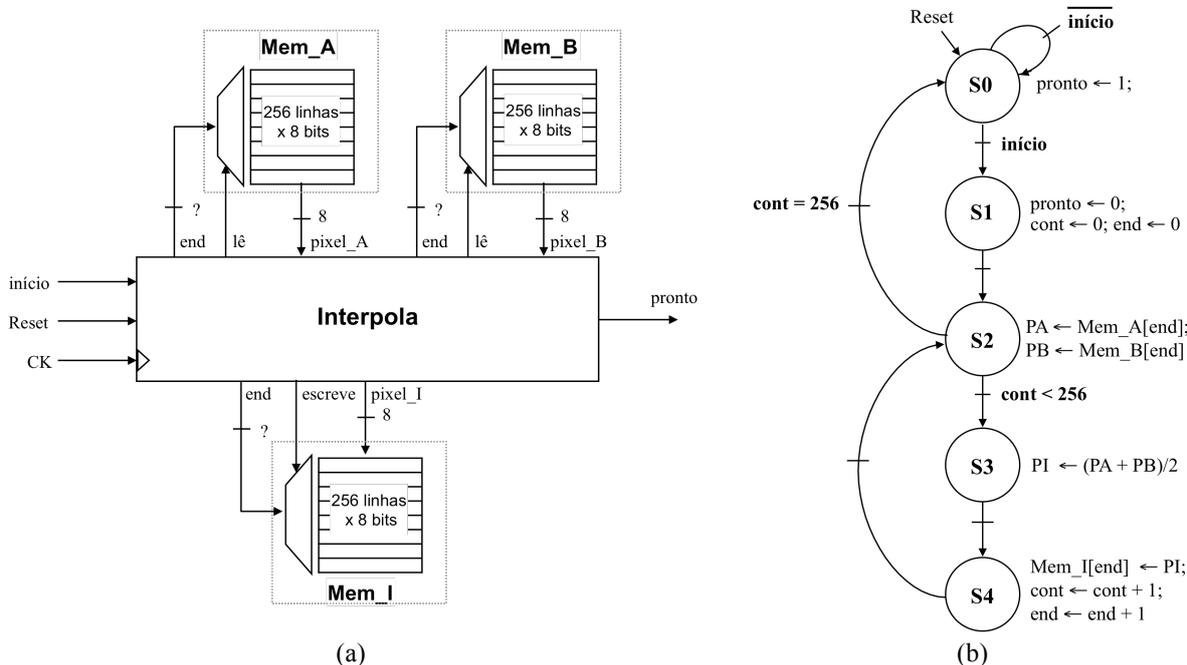


Fig. 1 – Interfaces do sistema digital “Interpola” (a) e sua FSMD (b).

A Fig. 1b mostra uma FSMD (versão Moore) para o sistema digital "Interpola". Nesta FSMD, "Mem\_A[end]" ("Mem\_B[end]", "Mem\_I[end]") representa um acesso à linha de "Mem\_A" ("Mem\_B[end]", "Mem\_I[end]") cujo endereço é "end". Além disso, esta FSMD assume que:

- Antes que "início=1", "Mem\_A" e "Mem\_B" são devidamente carregadas.
- A leitura de uma linha de "Mem\_A" (de "Mem\_B") é realizada mantendo-se o endereço ("end") estável e o sinal  $\overline{lê}=1$  durante 4ns. Após este tempo, o valor armazenado em "Mem\_A[end]" (em "Mem\_B[end]") estará disponível na saída **pixel\_A** (na saída **pixel\_B**).
- A escrita em uma linha de "Mem\_I" é realizada mantendo-se o endereço ("end") e o valor a ser escrito (**pixel\_I**) estáveis e o sinal **escreve**=1 durante 4ns. Após este tempo, o valor fornecido em **pixel\_I** terá sido escrito no endereço "end" de "Mem\_I" (ou seja, em "Mem\_I[end]").

Para o restante desta questão, assumir que:

- As variáveis "end" e "cont" da FSMD da Fig. 1b devem ser implementadas por um único registrador-incrementador (denominado "cont"), o qual possui reset assíncrono (sinal "zcont") e incremento síncrono (sinal "icont");
- A divisão que aparece em S3 (Fig. 1b) é inteira. Seu resultado deve ser truncado para 8 bits.

a) [Valor: 0,5 ponto] Quantos bits, no mínimo, deve ter o contador "cont" descrito acima?

Resposta: \_\_\_\_\_ bits

Justificativa/cálculos:

b) [Valor: 1,5 ponto] Com base nas informações das Figs. 1a e 1b, e respeitando as especificações e restrições fornecidas no enunciado anterior, complete o diagrama do bloco operativo (B.O.) de "Interpola" mostrado na Fig. 2. Cada item abaixo receberá 0,5 somente se estiver completamente correto.

- Parte do B.O. usada para controlar quantas vezes o laço {S2, S3, S4} é executado.
- Elementos que tratam dados e suas conexões.
- Sinais de comando e suas respectivas identificações.

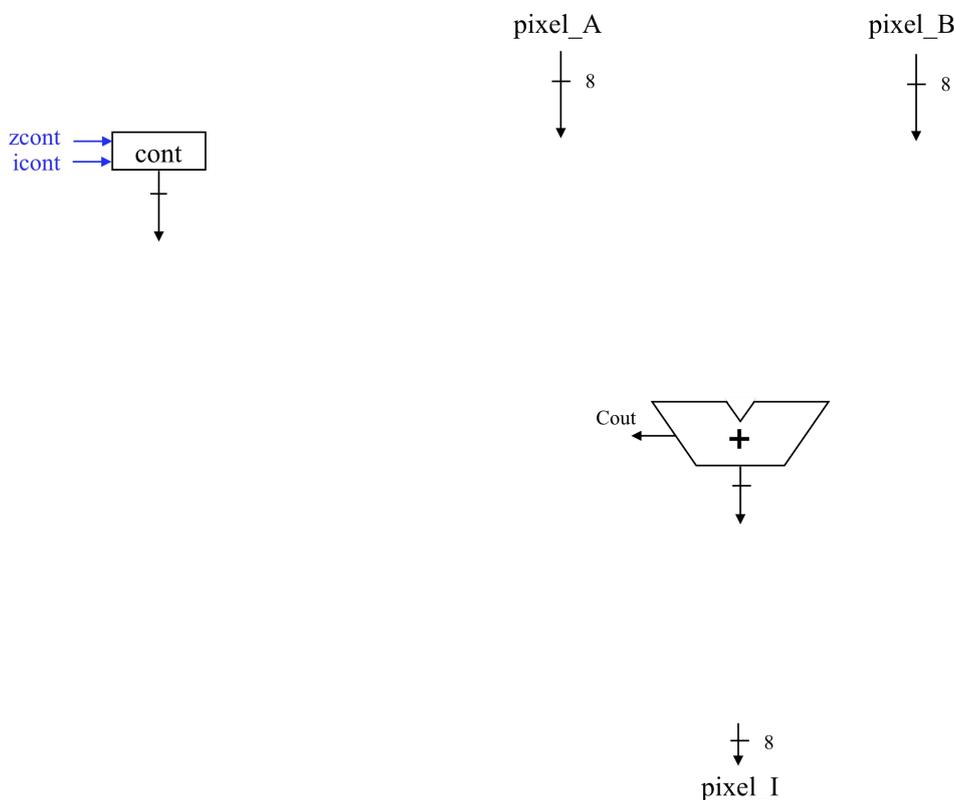


Fig. 2 – Diagrama do B.O. de "Interpola" (desenho a ser completado).

c) [Valor: 0,5 ponto] Quantos ciclos de relógio são necessários para que "Interpola" realize uma execução completa, conforme especificado na FSMD da Fig. 1b. (Considere duas execuções de S0: uma no início e uma no fim.) Justifique sua resposta, explicitando o cálculo do número de ciclos.

"Interpola" necessita \_\_\_\_\_ ciclos de relógio para realizar uma execução completa.

Cálculos:

- d) [Valor: 2,0 pontos] Assumindo os atrasos máximos (i.e., críticos) mostrados na Tab. 1 a seguir, calcule o tempo necessário (em ns) para realizar as operações previstas para os estados S2, S3 e S4 da FSMMD da Fig. 1b. Calcule também a frequência máxima do relógio (em MHz) para "Interpola". (Obs: 0,5 ponto para cada item completamente correto.)

Tab.1 – Atrasos máximos para os elementos a serem usados na construção de "Interpola".

Componente	Característica	Símbolo	Atraso (máximo)
Mem_A, Mem_B	tempo para leitura de uma linha	tleit	4 ns
Mem_I	tempo para escrita de uma linha	tesc	4 ns
Somador	atraso crítico	tsoma	2 ns
Registradores com carga paralela	tempo de setup	tsu	0,5 ns
Registradores com carga paralela	tempo de carga	tco	1 ns
Registradores com carga paralela	tempo de hold	th	Desprezível (0 ns)
Registrador-incrementador	tempo para incremento	tinc	Desprezível (0 ns)
Sinais de controle (qualquer um)	atraso	d	Desprezível (0 ns)
Outras operações não especificadas acima	atraso	-	Desprezível (0 ns)

**Tempo necessário para executar S2= \_\_\_\_\_ ns**

**Cálculo:**

**Tempo necessário para executar S3= \_\_\_\_\_ ns**

**Cálculo:**

**Tempo necessário para executar S4= \_\_\_\_\_ ns**

**Cálculo:**

**Frequência máxima do relógio a ser aplicado em "Interpola" = \_\_\_\_\_ MHz**

**Justificativa:**

Considere uma segunda versão de "Interpola", chamada de "Interpola\_v2". Nesta versão, cada memória é capaz de armazenar 256 pixels, porém com 4 pixels por linha. Além disso, o B.O. para esta versão é capaz de processar simultaneamente 4 pares de pixels (4 pixels lidos de "Mem\_A" e 4 pixels lidos de "Mem\_B") a cada execução do laço {S2, S3, S4} da FSMMD da Fig. 1b.

- e) [Valor: 0,5 ponto] Quantos ciclos de relógio são necessários para que "Interpola\_v2" realize uma execução completa, considerando ainda a FSMMD da Fig. 1b. (Considere duas execuções de S0: uma no início e uma no fim.) Justifique sua resposta, explicando o cálculo do número de ciclos.

**"Interpola\_v2" necessita \_\_\_\_\_ ciclos de relógio para realizar uma execução completa.**

**Cálculos:**

- f) [Valor: 0,5 ponto] Complete a Fig. 3 para que ela represente a parte do B.O. de "Interpola\_v2" usada para controlar quantas vezes o laço {S2, S3, S4} é executado. Identifique os sinais envolvidos e os respectivos números de bits.

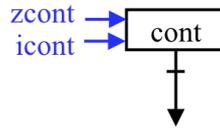


Fig. 3 – Diagrama da parte do B.O. de “Interpola\_v2” que controla o laço (desenho a ser completado).

- g) [Valor: 0,5 ponto] Na Fig. 4, complete os elementos do B.O. de "Interpola\_v2" que realizam o cálculo sobre os pares de pixels identificados pelos retângulos pontilhados.

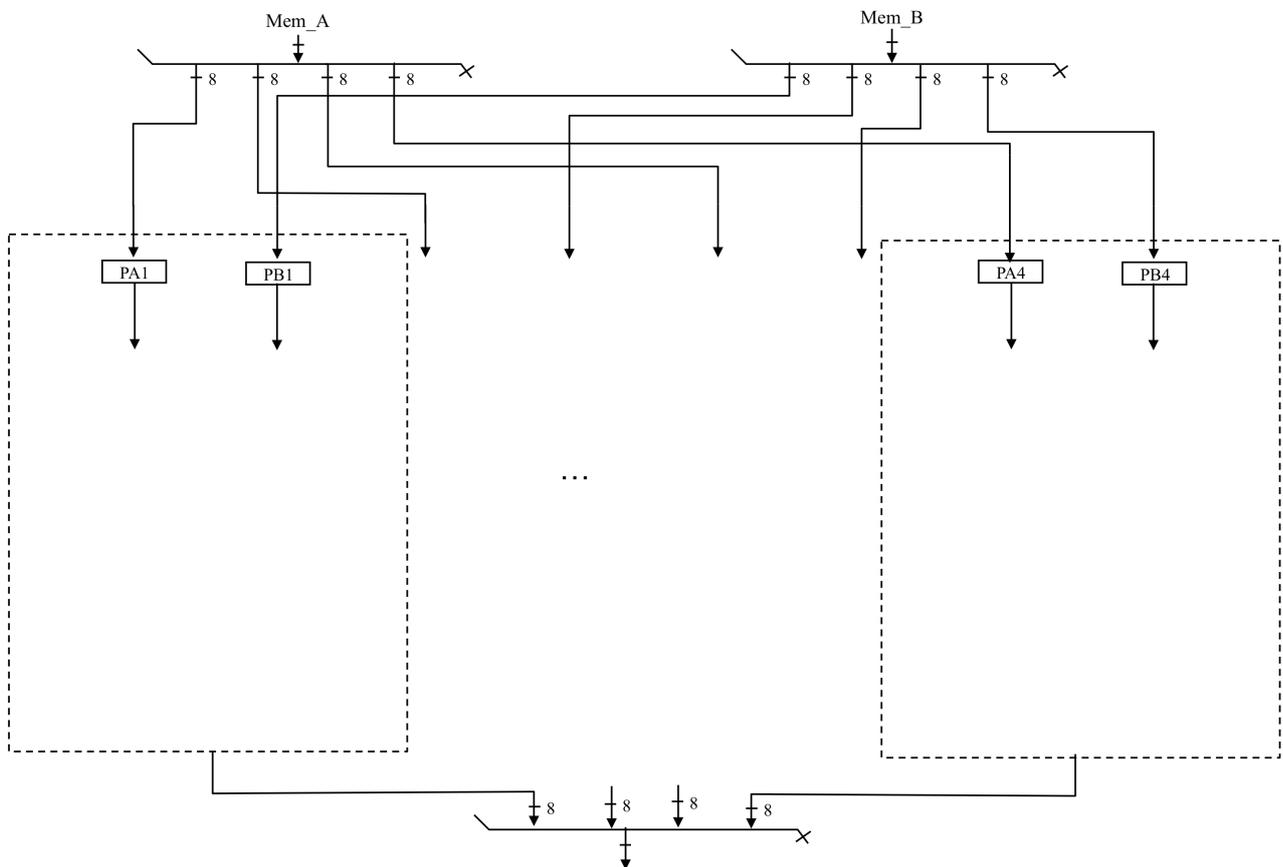


Fig. 4 – Diagrama da parte do B.O. de “Interpola\_v2” que realiza o cálculo com os pixels (desenho a ser completado).

**Questão 2** (valor total: 2,0 pontos)

A Fig. 5 mostra o diagrama do bloco operativo (*datapath*) de um sistema digital de propósito geral, normalmente referenciado por microprocessador. A Tab. 2 mostra as operações que a ULA deste microprocessador é capaz de realizar e os respectivos códigos de operação (i.e., valores para o sinal **op**). Os registradores são referenciados por R(i), onde i é o endereço do registrador no banco de registradores. O sinal EscReg comanda a escrita de registrador (fazendo-se EscReg=1), sendo sincronizado pela borda de subida do relógio (embora o relógio esteja omitido na Fig. 5).

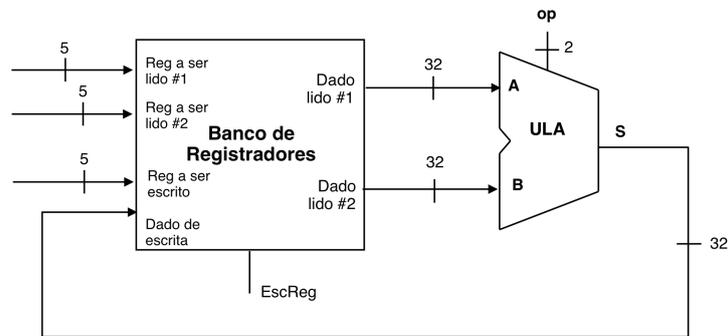


Fig.5 – Bloco operativo (*datapath*) de um microprocessador.

Tab.2 – Operações possíveis na ULA do microprocessador da Fig. 5 e respectivos sinais de controle.

op1	op0	Operação da ULA
0	0	S = A <b>AND</b> B
0	1	S = A <b>OR</b> B
1	0	S = A + B
1	1	S = A - B

Complete os sinais de controle (em **binário**) na Tab. 3 para que o bloco operativo da Fig. 5 realize as operações entre registradores que aparecem na coluna mais à esquerda desta tabela. Convenção: em  $R(i) \leftarrow R(j) + R(k)$ ,  $R(j)$  é o "**Dado lido #1**" e  $R(k)$  é o "**Dado lido #2**" (ver Fig. 5). (Critério de correção: 0,5 para cada linha corretamente preenchida.)

Tab.3 – Sequência de operações a serem realizadas e respectivos valores dos sinais de controle (a completar).

operação	Reg a ser lido #1	Reg a ser lido #2	op	Reg a ser escrito	EscReg
$R(2) \leftarrow R(0) + R(1)$					
$R(5) \leftarrow R(2) + R(2)$					
$R(15) \leftarrow R(9) - R(5)$					
$R(21) \leftarrow R(12) \text{ AND } R(11)$					

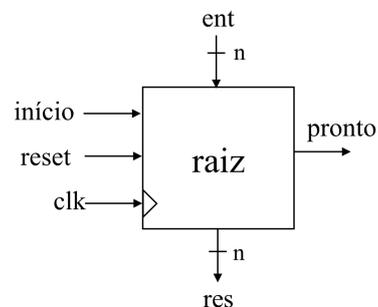
**Questão 3** (valor total: 2,0 pontos)

A Fig. 6a mostra o algoritmo da raiz quadrada inteira. A Fig. 6b mostra os sinais de interface de um sistema digital capaz de realizar este algoritmo, doravante denominado "**raiz**". O dado de entrada (**ent**) e o resultado (**res**) são números inteiros sem sinal, com n bits.

```

0 alg_raiz() {
1   pronto ← 0;
2   x ← ent; r ← 1; d ← 2; s ← 4;
3   while (x >= s) {
4     d ← d + 2;
5     s ← s + d;
6     s ← s + 1;
7     r ← r + 1;}
8   pronto ← 1; res ← r;
9 }
    
```

(a)



(b)

Fig. 6 – Algoritmo da raiz quadrada de um número inteiro (a) e interface do sistema digital **raiz** (b).

Assuma que o bloco operativo (B.O.) do sistema digital **raiz** possua as seguintes características:

- Possui quatro registradores para armazenar individualmente as variáveis **x**, **s**, **r** e **d** do algoritmo da Fig. 6a. Cada um destes registradores possui apenas um sinal de controle (**Cx**, **Cs**, **Cr** e **Cd**, respectivamente), o qual controla a carga paralela. Isto significa que estes registradores **não** são capazes de realizar nem incremento, nem set e nem reset.
- Possui apenas uma unidade funcional, do tipo somador.

- Possui um comparador, o qual é utilizado para realizar a comparação prevista na linha 3 do algoritmo da Fig. 6a.
- a) [Valor: 1,0 ponto] Complete o diagrama de estados de alto nível (FSMD), modelo de Moore, do sistema digital **raiz** mostrado na Fig. 7, satisfazendo às seguintes restrições:
- Esta FSMD deve permitir a execução correta do algoritmo da Fig. 6a , satisfazendo às restrições descritas no enunciado desta questão. (0,5 ponto)
  - O número de estados deve ser mínimo. No estado S2, apenas o teste  $x \geq s$  é realizado (0,5 ponto)

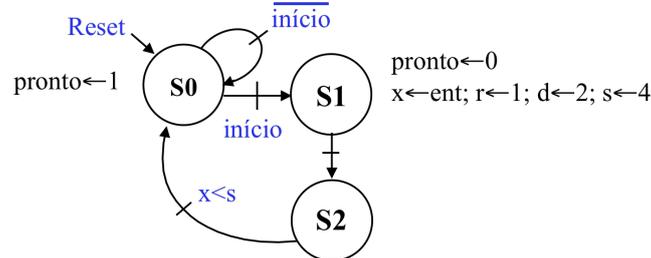


Fig. 7 – FSMD para o algoritmo da Fig. 6a, obedecendo às restrições impostas nesta questão (a ser completado).

Para os itens **b** e **c** que seguem, considere que **não** haja restrição no número de somadores a serem usados no B.O. de **raiz**, de modo que é possível utilizar tantos somadores quantos se queira.

- b) [Valor: 0,5 ponto] Nas condições acima enunciadas, qual é o **menor número de ciclos de relógio** necessários para executar uma passagem pelo laço do algoritmo da Fig. 6a (i.e., os passos 3 a 7)?

**Resposta:** \_\_\_\_\_ ciclos de relógio. **Justifique:**

- c) [Valor: 0,5 ponto] Complete a figura abaixo, de modo que ela mostre corretamente a nova versão da FSMD de **raiz**.

