

PCS 2304 Sistemas Digitais II

Módulo 03 – ASM Algorithm State Machine

Edison Spina

versão: 1.3ws (set de 2.015)

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 1

Conteúdo

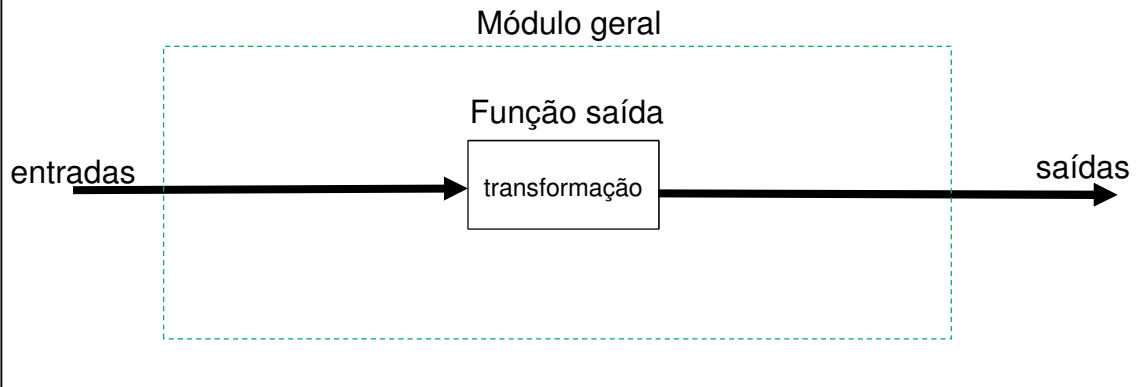
- 1. Máquinas de Estado – Introdução
- 2. Máquinas de Estado – Equivalências
- 3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine
 - Introdução
 - ASM – Mapeamento em Portas e Biestáveis
 - 3.1. Diagrama ASM – Exemplos
 - 3.2. ASM e Máquinas de Estado
 - 3.3. ASM – Mais exemplos de aplicações

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 2

1. Máquinas de Estado – Introdução

■ Circuitos combinatórios

- » entradas
- » saídas

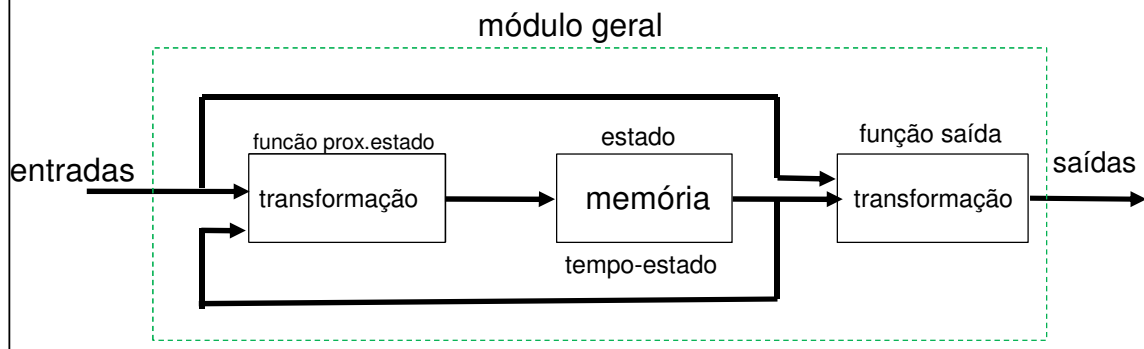


© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 3

1. Máquinas de Estado – Introdução

■ Circuitos sequenciais

- » entradas
- » saídas
- » tempo



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 4

1. Máquinas de Estado – Introdução

- Como se pode representar o comportamento no tempo?

– Resposta:
» função

- Num sistema digital, como se pode representar uma função?

– Resposta:
» tabela ou
seqüência de
estados

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 5

1. Máquinas de Estado – Introdução

Observações:

- Estado:
é a memória do passado que permite determinar o comportamento futuro, i.é., conhecidas as entradas permite determinar:
 - Saídas;
 - Próximo estado
 - Pode ser implementado com flip-flop's (registrador de estados !):
 - Flip-flop's do Estado – Variáveis de Estado.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 6

1. Máquinas de Estado – Introdução

Observações

- Cada variável de Estado tem um próximo Estado determinado.
- Ao término da permanência temporal em cada Estado, o próximo Estado passa a ser o Estado atual.
- A função próximo Estado depende do Estado atual e das entradas.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 7

1. Máquinas de Estado – Introdução

■ Máquina de Estado:

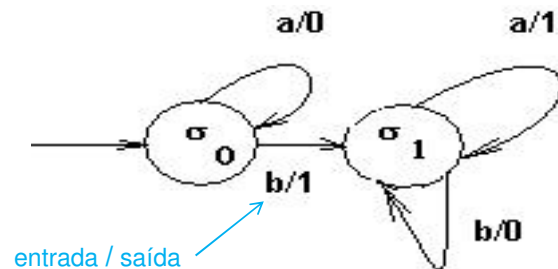
Modelo geral que pode representar qualquer módulo de um sistema lógico que leva em conta uma evolução no tempo.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 8

1. Máquinas de Estado – Introdução

- De maneira simples:
 - Estado: Nó;
 - Transição: Aresta (arco).
 - » No estado atual σ_0 com uma entrada b , vai para o estado σ_1 tendo à saída “1”.

Exemplo:



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 9

1. Máquinas de Estado – Introdução

- Por que Máquina de Estados “**Finita**”?
 - Porque o **número de Estados**, do sistema representado, é **finito**.
- Alguns autores usam a denominação “Máquina de Estados Finitos” com a expressão “Estados Finitos” sendo entendida como um **número finito de Estados**.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 10

1. Máquinas de Estado – Introdução

■ **Definição 10.1.4:** Uma **Máquina de Estados Finitos**

$M = (I, O, S, f, g, \sigma)$ consiste de:

- Um conjunto finito I de símbolos de entrada;
- Um conjunto finito O de símbolos de saída;
- Um conjunto finito S de estados;
- Uma função próximo estado $f: S \times I \rightarrow S$;
- Uma função de saída $g: S \times I \rightarrow O$;
- Um estado inicial $\sigma \in S$.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 11

1. Máquinas de Estado – Introdução

- **Ex 10.1.5** Seja $I=\{a,b\}$, $O=\{0,1\}$, $S=\{\sigma_0, \sigma_1\}$ e $\sigma = \sigma_0$. As funções f e g são definidas pelas regras dadas na tabela:

		f		g	
$S \backslash I$		a	b	a	b
σ_0		σ_0	σ_1	0	1
σ_1		σ_1	σ_1	1	0



$$\begin{aligned}
 f(\sigma_0, a) &= \sigma_0 & g(\sigma_0, a) &= 0 \\
 f(\sigma_0, b) &= \sigma_1 & g(\sigma_0, b) &= 1 \\
 f(\sigma_1, a) &= \sigma_1 & g(\sigma_1, a) &= 1 \\
 f(\sigma_1, b) &= \sigma_1 & g(\sigma_1, b) &= 0
 \end{aligned}$$

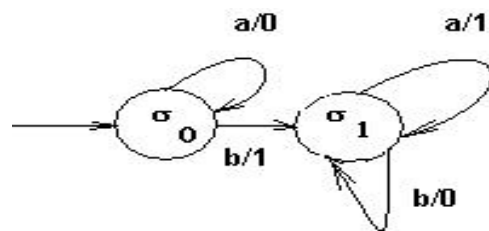
© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 12

1. Máquinas de Estado – Introdução

■ **Definição 10.1.7:** Seja $M = (I, O, S, f, g, \sigma)$ uma Máquina de Estado Finitos. O **diagrama de transições** de M é um dígrafo G cujos vértices são membros de S . Uma seta indica o estado inicial σ . Uma aresta orientada (σ_1, σ_2) existe em G se existir uma entrada i com $f(\sigma_1, i) = \sigma_2$. Neste caso, se $g(\sigma_1, i) = o$, a aresta (σ_1, σ_2) é rotulada com i/o .

Diagrama de transições

para o ex. 10.1.5:



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 13

1. Máquinas de Estado – Introdução

■ **Definição 10.1.8:** Seja $M = (I, O, S, f, g, \sigma)$ uma Máquina de Estados Finitos. Uma cadeia de entrada para M é uma cadeia sobre I . A cadeia $y_1 \dots y_n$ é a cadeia de saída de M correspondendo à cadeia de entrada $x_1 \dots x_n$, caso existam os estados $\sigma_0, \sigma_1, \dots, \sigma_n \in S$ com:

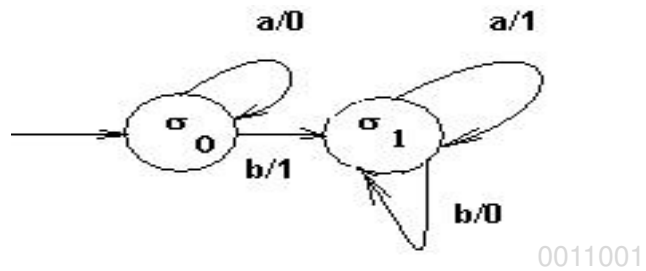
$$\sigma_0 = \sigma, \quad \sigma_i = f(\sigma_{i-1}, x_i), \quad y_i = g(\sigma_{i-1}, x_i) \quad \text{para } i=1, \dots, n;$$

*Pode-se pensar em $M = (I, O, S, f, g, \sigma)$ como um computador simples:
começa no estado σ , consome uma cadeia de caracteres sobre I e produz uma cadeia de saída.*

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 14

1. Máquinas de Estado – Introdução

- **Exemplo**: Encontre a cadeia de saída correspondente à cadeia de entrada *aababba* para a Máquina de Estados Finitos abaixo:



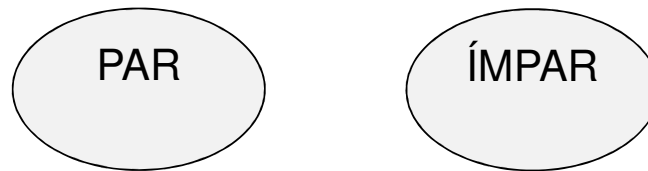
© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 15

1. Máquinas de Estado – Ex1

- **Exercício**:
 - Projetar uma Máquina de Estados Finitos que forneça:
 - » 1 como saída, caso um número par de 1's seja fornecido numa cadeia de bits de entrada;
 - » 0, em caso contrário.

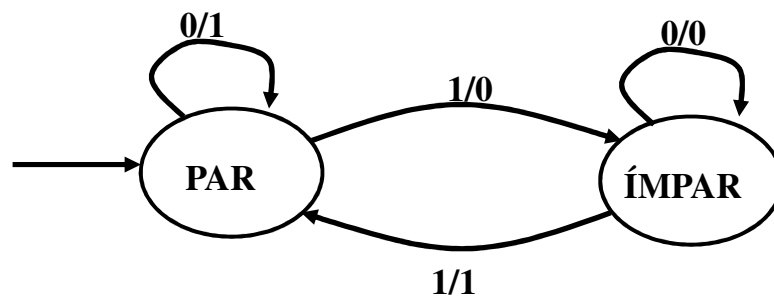
© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 16

1. Máquinas de Estado – Ex1



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 17

1. Máquinas de Estado – Ex1



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 18

1. Máquinas de Estado – Ex2

■ Exercício:

- Projetar uma Máquina de Estados Finitos que faça uma soma bit a bit e gere o vai 1.



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 19

1. Máquinas de Estado – Ex2

■ Somador serial: que aceita pares de bits:

- entrada: {00, 01, 10, 11}
- saída: {0, 1}

■ hipóteses:

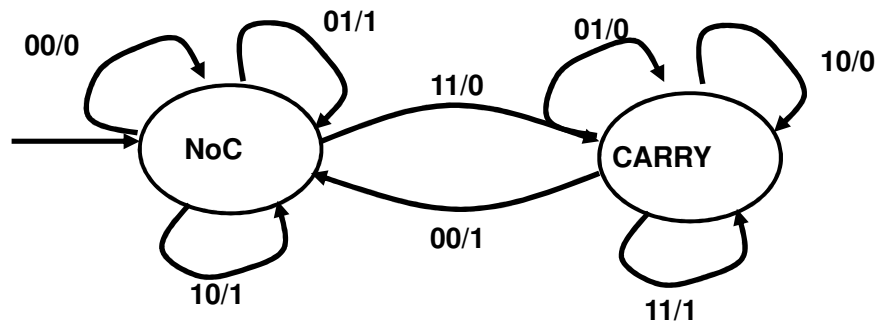
- $x + y$
- $x + y + 1$

■ logo, estados:

- Carry
- NoC (no carry)

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 20

3.1. Diagrama ASM – Exemplos:



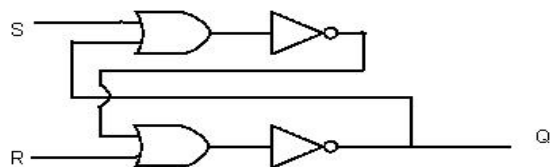
Legenda: CARRY = Houve Carry;
NoC = Não houve Carry.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 21

1. Máquinas de Estado – Ex3

– Projetar um flip-flop RS como máquina de estados finitos.

S	R	Q
1	1	Not allowed
1	0	1
0	1	0
0	0	1 if S was last 1 0 if R was last 1



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 22

2. Máquinas de Estado – Equivalências

- Técnicas de verificação de **Equivalências** para **Circuitos Combinatórios**:

- Tabelas da Verdade;
- Equações Algébricas;
- Mapas de *Karnaugh*.

- **Equivalências** para **Circuitos Sequenciais**:

- Máquinas de Estados
(tem que incluir a sequencia temporal).

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 23

2. Máquinas de Estado – Equivalências

- Pode-se utilizar **Máquinas de Estado** para representar circuitos combinatórios e, portanto, para quaisquer circuitos.

- Máquinas de estado incorporam a descrição de circuitos combinatórios.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 24

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- **Representação gráfica do algoritmo** que descreve o **comportamento do sistema digital**, ou seja, uma **ferramenta** para **descrever a Máquina de Estados**.
- É uma maneira **diagramática** de representar a **Função de Saída** e a **Função de Próximo Estado**, relacionando-as ao **Estado** da máquina.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 25

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- Linguagens -> Algoritmos -> Fluxograma (ASM) -> Mapeamento para Hardware
- Diagramas ASM representam algoritmos, portanto pode-se escrever o algoritmo que implementa um circuito qualquer, como se fosse um programa.
 - Linguagem de Descrição de *Hardware* (Verilog, AHDL, VHDL, etc).

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 26

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- Dispõe-se de quatro **Elementos Primitivos**:

- Bloco de Estado;
- Bloco de Decisão;
- Bloco de Junção;
- Bloco de Saída Condicional.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 27

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- A cada um destes **Elementos Primitivos** associa-se um símbolo gráfico (para elaborar o **Diagrama ASM**).
- Estes últimos, por sua vez, são associados a **Elementos Primitivos de Hardware** (para elaborar o **Diagrama Lógico** correspondente).

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 28

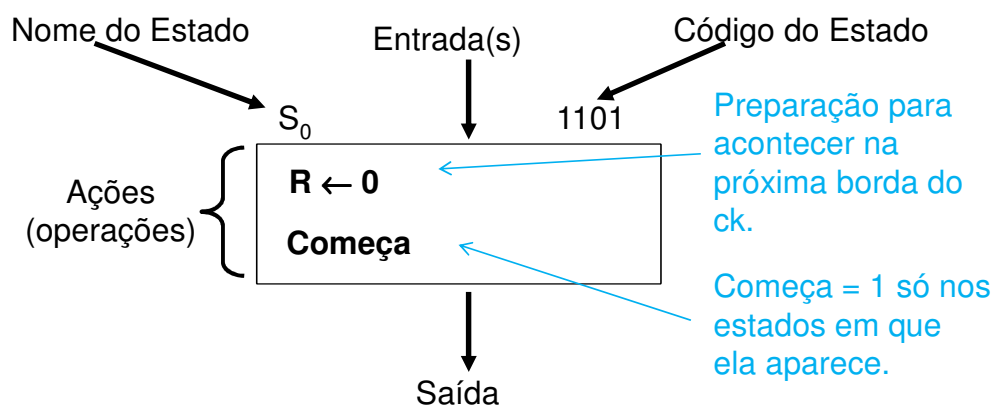
3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- Bloco de Estado:
 - Lista das saídas de Estado;
 - Nome do Estado (código);
- Lista das saídas:
 - Define um conjunto de operações;
 - As operações podem ser:
 - » Imediatas ("=");
 - » Com atraso ("or").

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 29

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

■ Bloco de Estado:



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 30

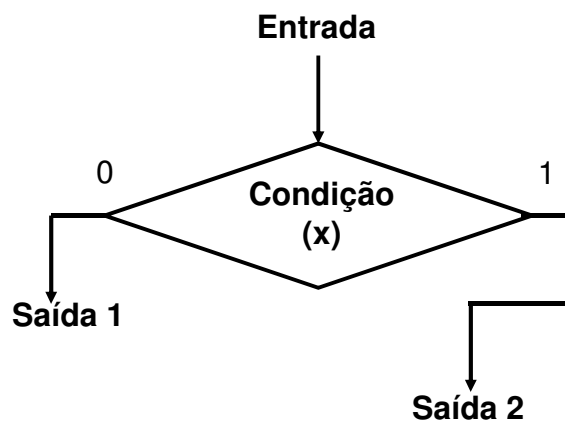
3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- **Bloco de Decisão** – Descreve as entradas para a máquina de estados e possui 2 caminhos de saída:
 - Condição verdadeira (“ $x = 1$ ”);
 - Condição falsa (“ $x = 0$ ”).
- Representa o efeito das entradas na seqüência de controle.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 31

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

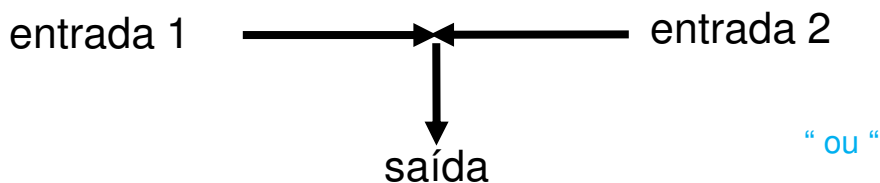
- **Bloco de Decisão:**



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 32

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- **Bloco de Junção** – Este elemento descreve e trata um conjunto de uma ou mais entradas, que provocam a mesma saída:
 - Exemplo: Duas saídas de Blocos, que juntas compõe as entradas que vão definir o próximo Estado da Máquina ASM.



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 33

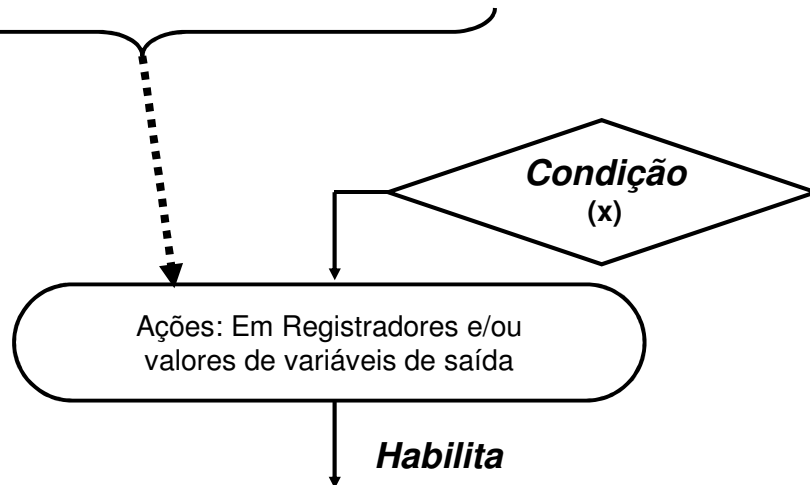
3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- **Bloco de Saída Condicional:**
 - Característica específica de Diagramas ASM (***não existe nos fluxogramas convencionais!***);
 - A **entrada** deste bloco **deve sempre se originar de uma das saídas** de um **Bloco de Decisão**;
 - Exemplo: A variável lógica *Habilita*, dependente de uma entrada *Condição* (ativo alto), terá valor lógico 1 apenas se o ASM estiver no Estado S_i e *Condição* for igual a 1.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 34

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

■ Bloco de Saída Condicional:



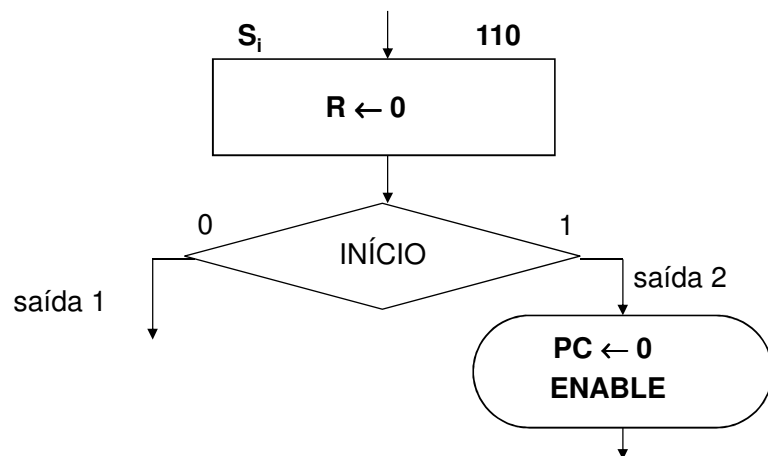
© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 35

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

■ Bloco de Saída Condicional (inserido em um Diagrama ASM):

Se Estado = Si:

- o registrador R será zerado na próxima borda do clock
- Se INICIO=1: PC será zerado na próxima borda do clock.
- ENABLE = 1 enquanto INICIO = 1 e Si



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 36

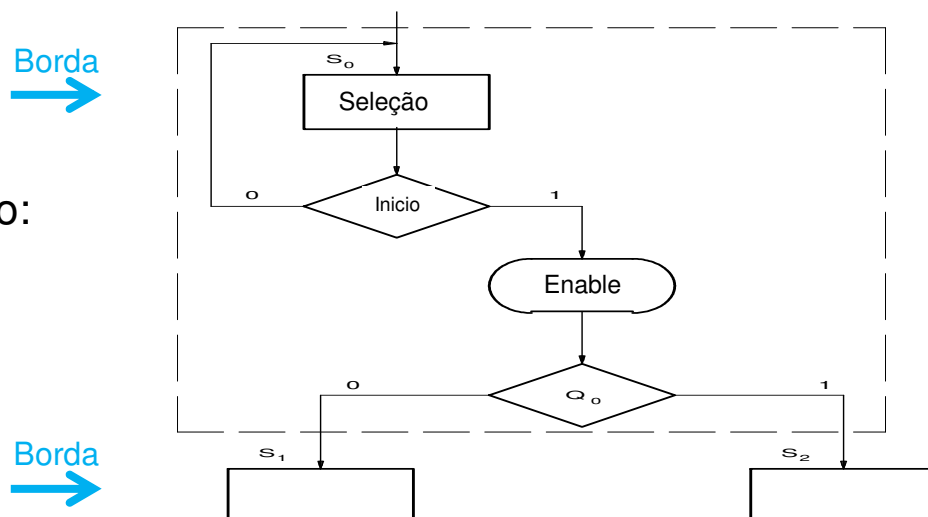
3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- **Bloco ASM** – Estrutura que consiste de um Bloco de Estado e uma rede de Blocos de Decisão, Blocos de Saída Condicional e Blocos de Junção:
 - Descreve a operação da Máquina de Estados durante **um estado** de tempo;
 - Representa o estado atual, as saídas do estado, as saídas condicionais e o próximo estado.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 37

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

Exemplo:
Bloco
ASM



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 38

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- **Diagrama ASM** – Consiste em um ou mais **blocos ASM** interconectados, através de ligações:
 - **Descreve a operação da Máquina de Estados durante todos os estados de tempo discreto;**
 - Representa o estado atual, as saídas do estado, as saídas condicionais e o próximo estado para todos os estados da máquina ASM.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 39

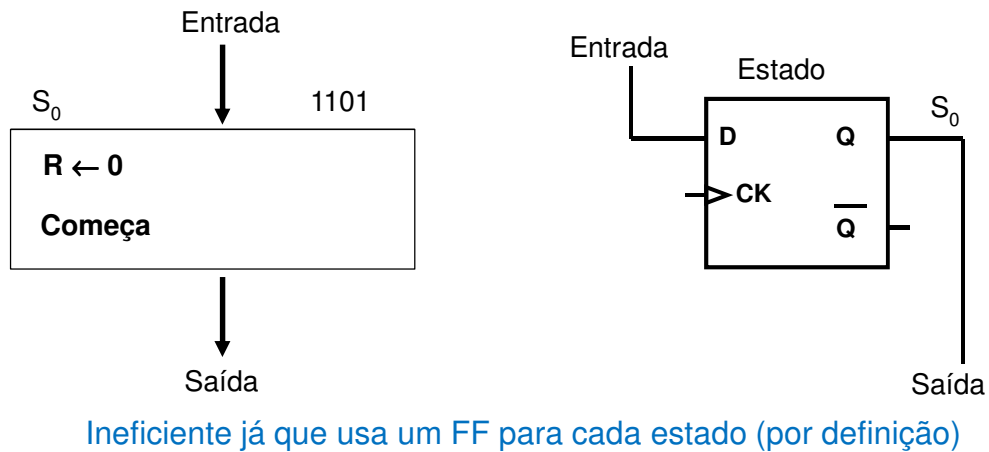
3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- Cada símbolo é mapeado em *hardware*:
 - Bloco de Estado: *Flip-Flop*
 - Bloco de Decisão: *AND* e *NOT*
 - Bloco de Junção: *OR*
 - Bloco de Saída Condicional: *AND*
(obs: quando são vários Blocos de Saída Condicional que influenciam o valor da mesma variável, estes devem ser “somados” com uma porta *OR*).

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 40

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

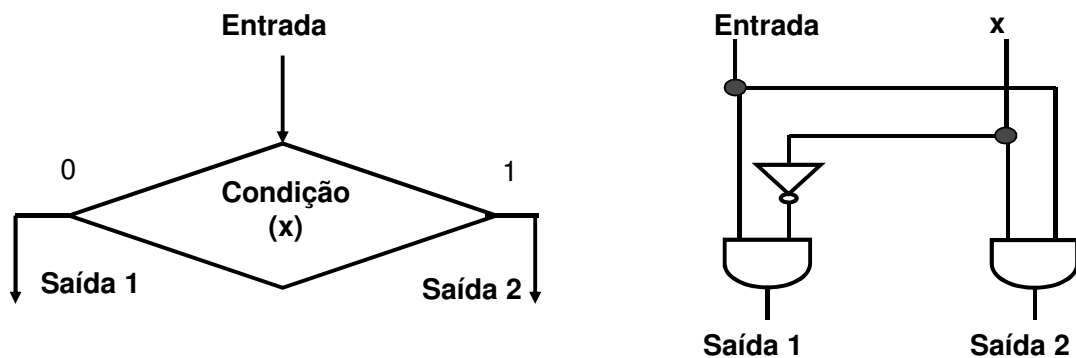
- Cada símbolo é mapeado em *hardware*:
 - Bloco de Estado: *Flip-Flop*



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 41

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

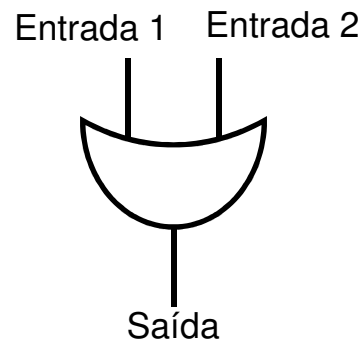
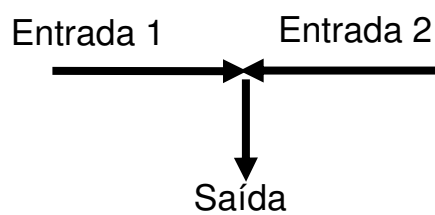
- Cada símbolo é mapeado em *hardware*:
 - Bloco de Decisão: *AND* e *NOT*



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 42

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

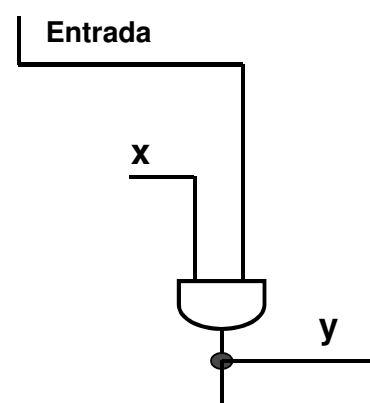
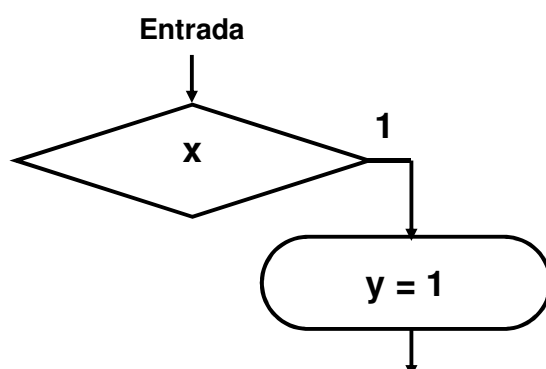
- Cada símbolo é mapeado em *hardware*:
 - Bloco de Junção: *OR*



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 43

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

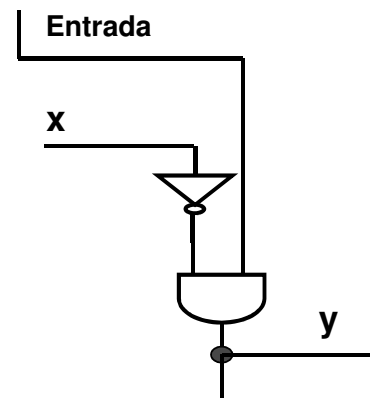
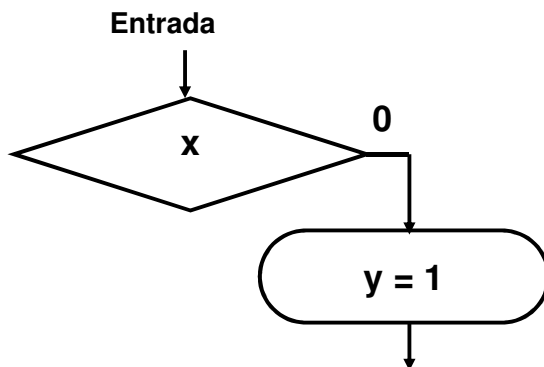
- Cada símbolo é mapeado em *hardware*:
 - Bloco de Saída Condicional: *AND*.



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 44

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- Cada símbolo é mapeado em *hardware*:
 - Bloco de Saída Condicional: *NOT&AND*.



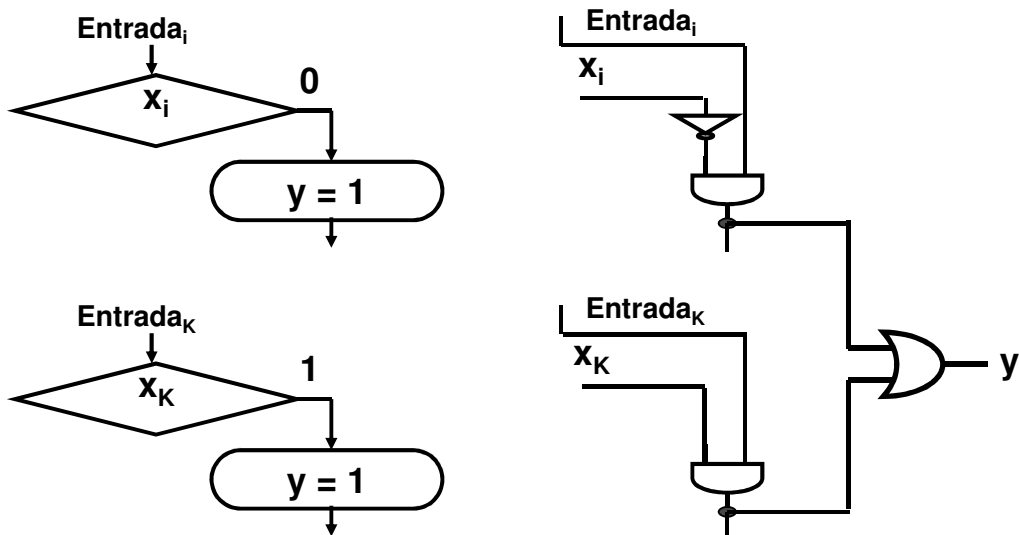
© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 45

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

- Cada símbolo é mapeado em *hardware*:
 - Bloco de Saída Condicional:
 - Quando são vários Blocos de Saída Condicional que influenciam o valor da mesma variável, estes devem ser “somados” com uma porta *OR* (aplicação de um Bloco de Junção).

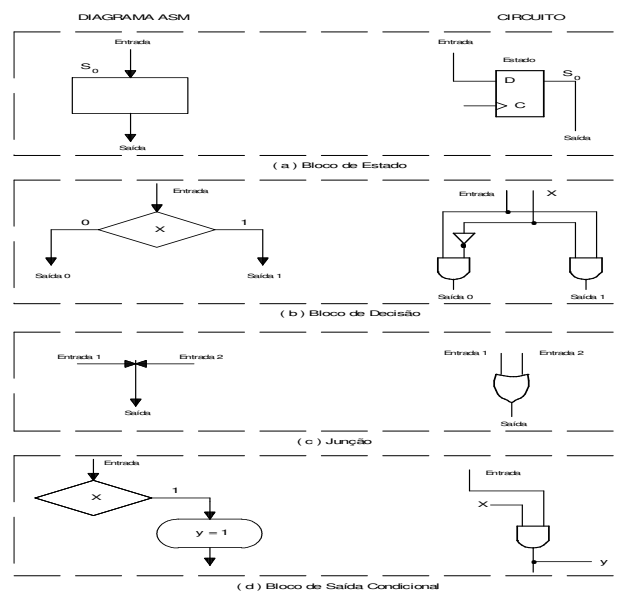
© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 46

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 47

3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 48

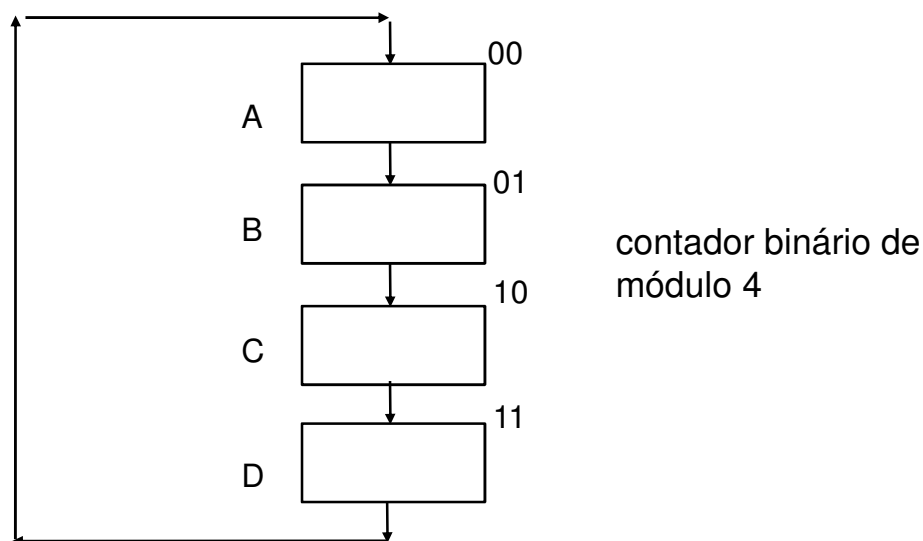
3. Diagrama ASM – Algorithmic State Machine

■ Restrições dos diagramas ASM:

- Não pode haver dois “**Próximos Estados**” possíveis para um **único Estado** do qual se parte, isto é, uma máquina de estados não pode estar em dois estados simultaneamente;
- **Blocos de Condição** devem apontar para estados.

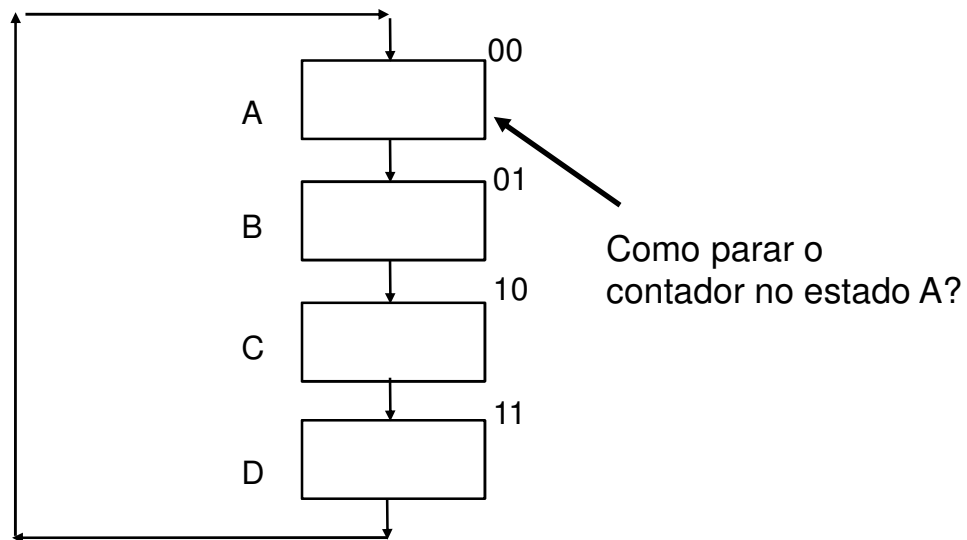
© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 49

3.1. Diagrama ASM – Exemplos:



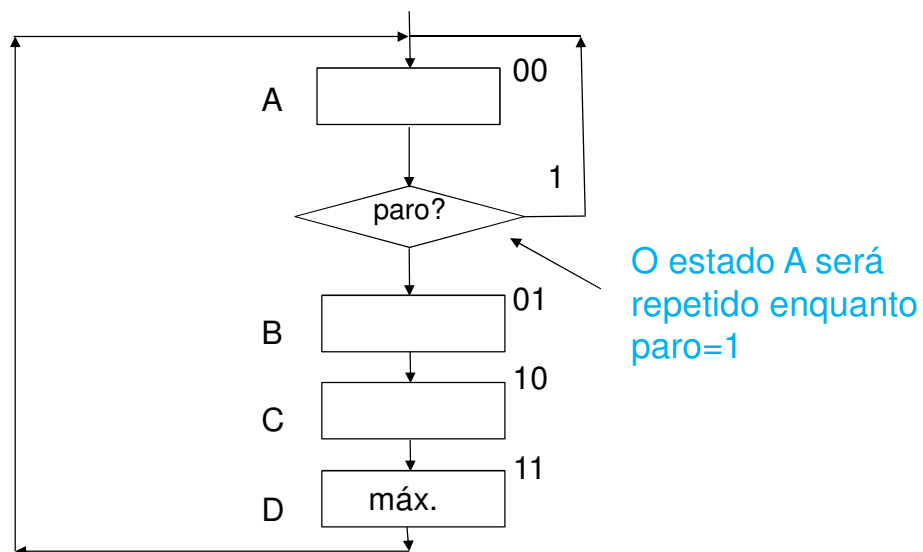
© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 50

3.1. Diagrama ASM – Exemplos:



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 51

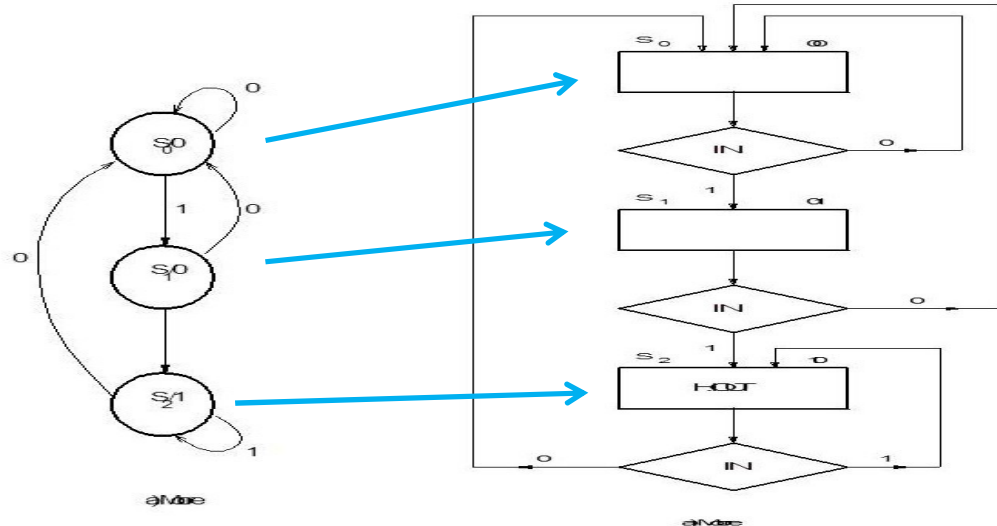
3.1. Diagrama ASM – Exemplos:



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 52

3.2. ASM e Máquinas de Estado

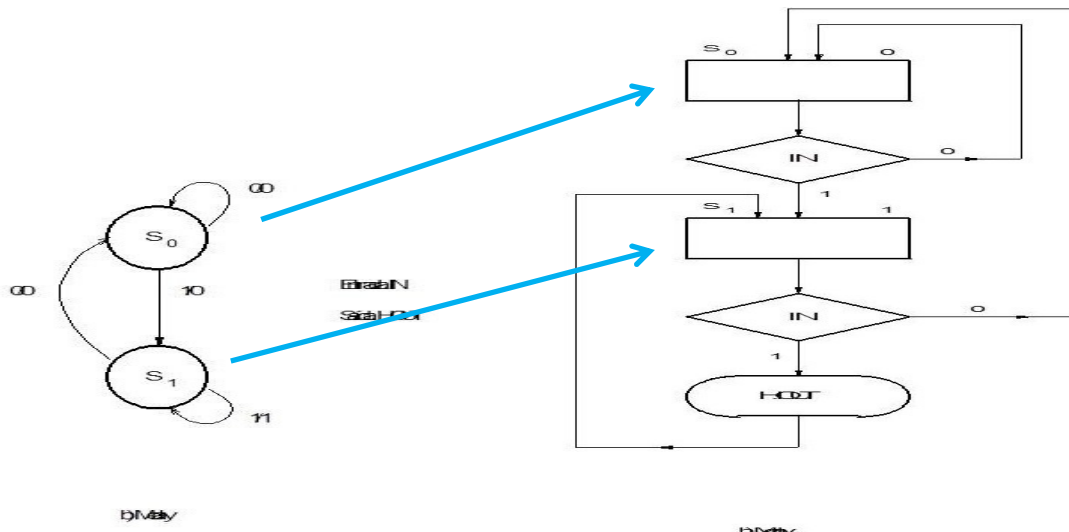
Relacionando máquinas de estado e diagramas ASM



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 53

3.2. ASM e Máquinas de Estado

Relacionando máquinas de estado e diagramas ASM



© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplicio e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 54

3.3. ASM – Mais exemplos de aplicação

■ Outros exemplos de aplicações dos diagramas ASM:

- Unidade de controle de um processador;
- Multiplicador binário;
- Contador de 1's.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 55

Livro Texto

■ Wakerly, J.F.; *Digital Design – Principles & Practices*; 4th Edition, ISBN: 0-13-186389-4, Pearson & Prentice-Hall, Upper Saddle, River, New Jersey, 07458, 2006.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 56

Lição de Casa

- Leitura Obrigatória:
 - Página 664 do Livro Texto e demais referências a ASM.
- Exercícios Obrigatórios:
 - Lista de Exercícios do tema.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 57

Bibliografia Adicional Deste Assunto

- Clare, Christopher R.; *Designing Logic Systems using State Machines*; McGraw-Hill, 1973.

© Andrade, Midorikawa, Saraiva, Simplício e Spina 2.012 <ASM-Alg. State Mach.> PCS 2304 Sistemas Digitais II 58