



Relatório – Projeto de máquinas de estado

Disciplina: ELE0518 – Laboratório de Sistemas Digitais

Alunos: Bruno Matias de Sousa

Data: 17/05/2019

Levy Gabriel da Silva Galvão

Pedro Henrique de Souza Fonsêca dos Santos

1. Introdução

O uso de máquina de estados é essencial para a execução de circuitos sequenciais, que requerem que certas instruções sejam seguidas em uma ordem específica. Esse tipo de lógica se aplica de várias formas em máquinas que são parte do cotidiano, tais como máquinas de lanches e bebidas.

O objetivo deste trabalho é projetar um sistema digital baseado em máquinas de estados que solucione a problemática de uma dessas máquinas de bebidas. Para isso são utilizadas algumas simplificações para que o projeto não fique tão grande e complexo. Isso pois máquinas de estados de baixo nível, como as tratadas agora, não possuem capacidade de lidar com muita complexidade. Uma posterior solução para isso é o uso de máquinas de estados de alto nível que estão intimamente relacionadas à componentes já prontos.

No tópico abaixo serão discutidas as simplificações que podem ser tomadas para projetar uma máquina desse tipo.

2. Referencial teórico

As máquinas de bebidas, em geral, possuem duas ações que podem ser feitas, escolher a bebida e depositar o dinheiro. Algumas máquinas calculam e retornam até o troco caso o dinheiro inserido seja maior do que a da bebida escolhida, porém a máquina de estados trabalhada neste projeto não possuirá essa capacidade.

O ideal em um projeto digital projetado para esse tipo de problema é que existam três entradas: uma entrada que escolhe a bebida dentre várias possíveis bebidas que possuam ou não o mesmo valor (essa entrada pode servir tanto para escolher a bebida antes de inserir o dinheiro ou depois de inserir o dinheiro); outra que insere a quantidade de dinheiro em uma sequência que depende da disponibilidade de moedas ou notas que o cliente possui; e outra que desliga/liga a máquina a qualquer momento. Sendo esta última mais simples de implementar.

No que diz respeito à máquina de estados, ela deverá possuir um estado de espera, esperando que a chave de liga/desliga seja acionada. Depois desse estado de espera a máquina deve contar a quantidade de dinheiro que ela possui, assim, iniciando no R\$0.00 e mudando para outro estado que representa a quantidade de dinheiro atual que tem no sistema.

No Brasil, atualmente existem 5 possibilidades de moedas (R\$0.05, R\$0.10, R\$0.25, R\$0.50, R\$1.00), sem contar as notas. Isso implica que para acessar uma bebida que custa R\$1.00, existirão cerca de 71 combinações de moedas possíveis (contando apenas que existem apenas bebidas com esse valor na máquina). Todas essas rotas deveriam de ser contabilizadas para a construção dos estados, implicando uma grande quantidade de bits para representar os estados.

Assim, a solução proposta para simplificar esse quesito do problema foi utilizar uma chave binária que controla o tipo de moeda que entra. Caso essa chave for 0 implica que uma moeda de R\$0.50 está sendo inserida e 1 para uma moeda de R\$1.00.

Outro problema seria contabilizar as diferentes bebidas que poderiam possuir o mesmo preço. Para isso ficou acordado de utilizar apenas três tipos de saídas: quando o valor for R\$1.00 a saída é uma água; quando R\$2.00, um refrigerante; e quando R\$2.50, um combo de água e refrigerante. Para evitar que o dinheiro inserido seja maior que o da bebida escolhida e que exista uma chave para escolher a bebida, a máquina deve sempre voltar para o estado de R\$0.00 sempre que encontrada uma saída.

Como o projeto deve ser realizado com máquinas de estados, ele acaba possuindo essas limitações. Porém, nada atrapalha de aplicar o conhecimento sobre o assunto e obter uma máquina totalmente funcional na prática.

3. Metodologia

3.1 Proposta do projeto

O projeto a ser realizado é referente a construção de uma máquina de bebidas que aceita moedas de R\$ 0.50 e R\$ 1.00. No qual a máquina oferece duas bebidas, água e refrigerante. A água custa R\$ 1.00 e o refrigerante custa R\$2.00 e o combo água mais refrigerante custa R\$ 2.50. A maneira que foi pensado o projeto nos coloca que quando chegar ao valor de um dos produtos a máquina nos dará o produto daquele valor e retornará ao zero reais até ser colocado um novo valor. Para se conseguir um combo por exemplo devemos inserir na máquina uma moeda de 50 centavos, um real e por fim outro moeda de um real, totalizando os R\$ 2.50 necessários para o combo.

3.2 Materiais

O presente projeto fez uso dos seguintes equipamentos:

- Protoboard;
- Fonte de tensão DC;
- Fios e conexões;
- Gerador de funções;
- Cinco resistores de 220Ω;
- Um LED amarelo;
- Um LED vermelho;
- Três LEDs verdes;
- Um CI 7404 (NOT);
- Um CI 7486 (XOR);
- Três CI 7432 (OR);
- Três CI's 7411 (3 input AND);
- Dois CI's 7473 (flip-flop JK).

As quantidades e os usos de cada um dos CI's serão explicitado no tópico a seguir.

3.3 Métodos

A lógica do circuito foi baseado no que foi estabelecido no roteiro entregue, no caso escolhemos um circuito com 7 estados de acordo com o diagrama abaixo, cada estado foi codificado como se segue abaixo, sendo que o estado W é o estado de espera e os estados consequentes são referentes aos valores possíveis de serem colocados, sendo E0 o estado de R\$ 0.00, E1 o estado de R\$ 0.50, E2 o estado de R\$ 1.00, E3 o estado de R\$ 1.50, E4 o estado de R\$ 2.00 e por fim E5 o estado de R\$ 2.50.

ESTADOS	CÓDIGOS	VALOR	SAÍDA
W	000	--	$A'R'$
E_0	001	R\$0,00	$A'R'$
E_1	010	R\$0,50	$A'R'$
E_2	011	R\$1,00	AR'
E_3	100	R\$1,50	$A'R'$
E_4	101	R\$2,00	$A'R$
E_5	110	R\$2,50	AR

Figura 1 - Tabela de codificação dos estados com seus respectivos valores em dinheiro e as saídas de cada um (A para água e R para refrigerante, quando barrado, o respectivo LED estará apagado, em caso contrário, ligado).

O diagrama de estado foi feito respeitando o que foi recomendado, no qual h é o seletor ou chave que acionará a máquina de bebidas, e m é a entrada de inserção da moeda. podemos perceber que quando $h=0$ a máquina fica na espera, sendo acionada e conseguindo o valor da bebida desejado todos estados voltam para zero reais, quando a máquina é desligada todos os estados retornam à espera (W).

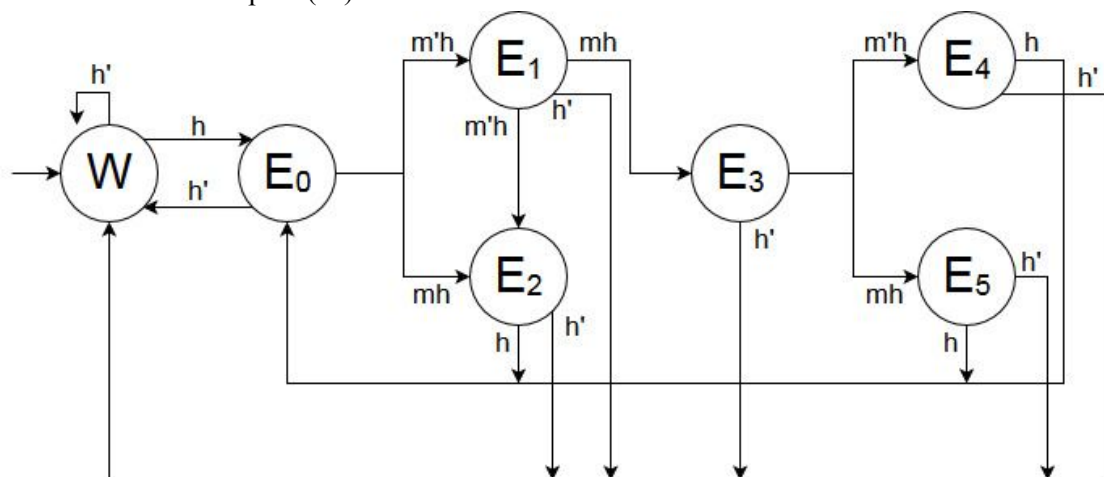


Figura 2 - Diagrama da máquina de estados.

A partir do diagrama da máquina de estados, foi feita a tabela de transição de estados utilizando Flip-Flops JK, como são 7 estados necessitamos de no mínimo de três flip-flops para realizarmos a tarefa. A seguir a tabela montada com os valores das saídas e dos flip-flops.

⏻	ESTADO ATUAL			§	ESTADO FUTURO			SAÍDAS		FF 2		FF 1		FF 0	
<i>h</i>	<i>s</i> ₂	<i>s</i> ₁	<i>s</i> ₀	<i>m</i>	<i>n</i> ₂	<i>n</i> ₁	<i>n</i> ₀	<i>A</i>	<i>R</i>	<i>J</i> ₂	<i>K</i> ₂	<i>J</i> ₁	<i>K</i> ₁	<i>J</i> ₀	<i>K</i> ₀
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	X	0	X
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	X	0	X	0	X
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	X	0	X	X	1
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	X	0	X	X	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	1	0	X
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	X	X	1	0	X
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	X	X	1	X	1
0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	X	X	1	X	1
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	X	1	0	X	0	X
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	X	1	0	X	0	X
0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	X	1	0	X	X	1
0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	X	1	0	X	X	1
0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	X	1	X	1	0	X
0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	X	1	X	1	0	X
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	X	1	X	1	X	1
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	X	1	X	1	X	1
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	X	0	X	1	X
1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	X	0	X	1	X
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	X	1	X	X	1
1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	X	1	X	X	0
1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	X	X	0	1	X
1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	X	X	1	0	X
1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	X	X	1	X	0
1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	X	X	1	X	0
1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	X	0	0	X	1	X
1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	X	0	1	X	0	X
1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	X	1	0	X	X	0
1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	X	1	0	X	X	0
1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	X	1	X	1	1	X
1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	X	1	X	1	1	X
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	X	1	X	1	X	1
1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	X	1	X	1	X	1

Figura 3 - Tabela de transição dos estados.

Após feita a tabela de achar as expressões booleanas das saídas e dos flip-flops JKs. Com isso foi preciso a utilização de um Mapa-K de 5 variáveis, como pode ser visto abaixo, as expressões correspondentes junto com o mapa-k, achamos J2, K2, J1, K1, J0, K0, Além de A e R, como pode ser visto abaixo.

$$J_2 = hs_1s_0'm$$

J_2	$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$		$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0	$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0
$hs_2 s_1$	0	0	0	0	$hs_2 s_1$	0	1	0	0
$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	X	X	$hs_2 s_1$	X	X	X	X
$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	X	X	$hs_2 \overline{s_1}$	X	X	X	X

Figura 4 - Mapa-K para a entrada J do flip-flop 2.

$$K_2 = h' + s_1 + s_0$$

K_2	$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$		$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$
$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	X	X	$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	X	X
$hs_2 s_1$	X	X	X	X	$hs_2 s_1$	X	X	X	X
$\overline{hs_2 s_1}$	1	1	1	1	$hs_2 s_1$	1	1	1	1
$\overline{hs_2 s_1}$	1	1	1	1	$hs_2 \overline{s_1}$	0	0	1	1

Figura 5 - Mapa-K para a entrada K do flip-flop 2.

$$J_1 = h(s_2' s_0 + s_2 s_0' m)$$

J_1	$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$		$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0	$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	1	1
$hs_2 s_1$	X	X	X	X	$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	X	X
$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	X	X	$hs_2 s_1$	X	X	X	X
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0	$hs_2 \overline{s_1}$	0	1	0	0

Figura 6 - Mapa-K para a entrada J do flip-flop 1.

$$K_1 = h' + m + s_0 + s_2$$

K_1	$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$		$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$
$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	X	X	$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	X	X
$hs_2 s_1$	1	1	1	1	$\overline{hs_2 s_1}$	0	1	1	1
$\overline{hs_2 s_1}$	1	1	1	1	$hs_2 s_1$	1	1	1	1
$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	X	X	$hs_2 \overline{s_1}$	X	X	X	X

Figura 7 - Mapa-K para a entrada K do flip-flop 1.

$$J_0 = h(m' + (s_2 \oplus s_1)')$$

J_0	$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$		$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	X	X	$\overline{hs_2 s_1}$	1	1	X	X
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	X	X	$\overline{hs_2 s_1}$	1	0	X	X
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	X	X	$\overline{hs_2 s_1}$	1	1	X	X
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	X	X	$\overline{hs_2 s_1}$	1	0	X	X

Figura 8 - Mapa-K para a entrada J do flip-flop 0.

$$K_0 = h' + s_2 s_1 + s'_2 s'_1 m'$$

K_0	$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$		$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$
$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	1	1	$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	0	1
$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	1	1	$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	0	0
$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	1	1	$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	1	1
$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	1	1	$\overline{hs_2 s_1}$	X	X	0	0

Figura 9 - Mapa-K para a entrada K do flip-flop 0.

$$A = s_1 (s_2 \oplus s_0)$$

A	$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$		$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0	$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	1	1	$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	1	1
$\overline{hs_2 s_1}$	1	1	0	0	$\overline{hs_2 s_1}$	1	1	0	0
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0	$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0

Figura 10 - Mapa-K para a saída A (água).

$$R = s_2 (s_1 \oplus s_0)$$

R	$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$		$\overline{s_0 m}$	$\overline{s} m$	$s_0 m$	$s_0 \overline{m}$
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0	$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0	$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	0	0
$\overline{hs_2 s_1}$	1	1	0	0	$\overline{hs_2 s_1}$	1	1	0	0
$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	1	1	$\overline{hs_2 s_1}$	0	0	1	1

Figura 11 - Mapa-K para a saída R (refrigerante).

Logo depois de achar as expressões de cada saída foi feita a simulação do circuito completo no software proteus para garantir que a lógica do circuito esteja correta. Esse passo da simulação é essencial para projetos dessa magnitude, pois qualquer erro no funcionamento custaria muito

tempo e recursos para ser identificado após a montagem na protoboard. Como tudo funcionou como esperado foi feita a montagem na protoboard.

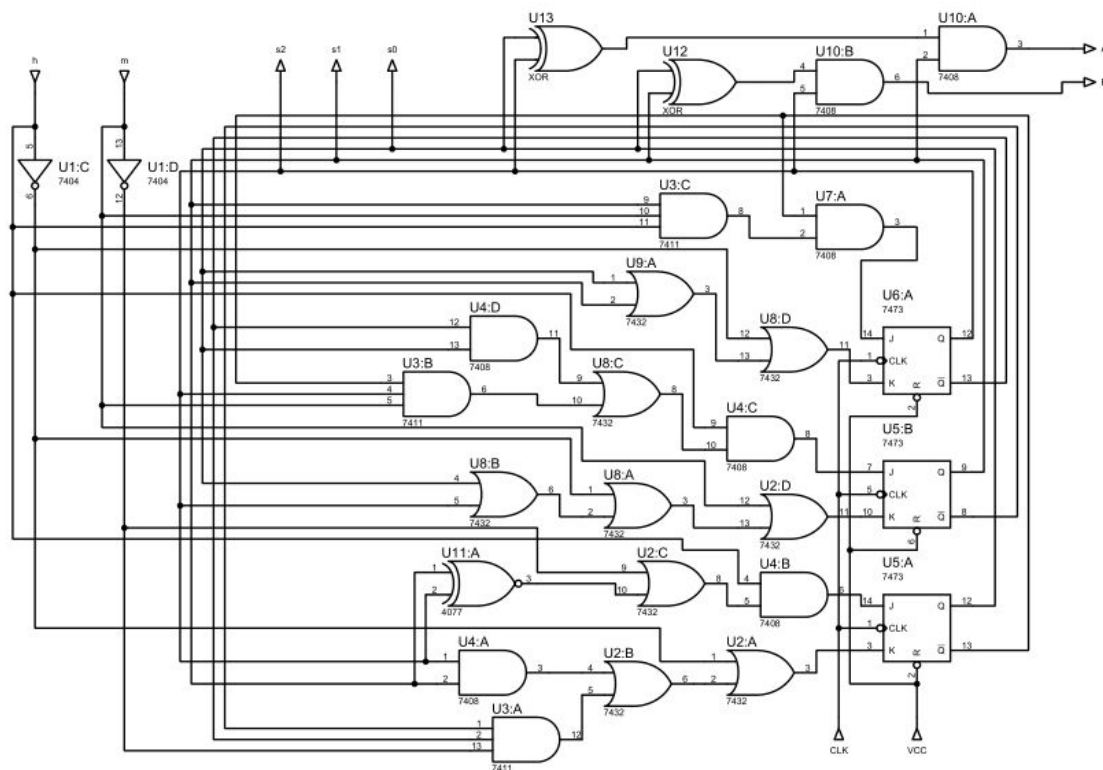


Figura 12 - Circuito Lógico da máquina de bebidas.

4. Resultados práticos

Ao terminarmos a montagem, foi nos passado uma série de testes para serem executados na máquina, de forma a saber se ela cumpria sua função perfeitamente, de acordo com o roteiro do projeto.

Inicialmente, pressionamos o botão h para que a máquina ligue e contabilizava os R\$ 0,00. Após isso, o primeiro teste era para que a sua saída fosse água. Logo, deixamos a entrada m em zero durante dois clocks, equivalente a duas moedas de R\$ 0,50 para que o LED equivalente a saída água acionasse. Posteriormente foi testado o mesmo, com a entrada m ligada, equivalente a uma moeda de R\$ 1,00, e após 1 pulso de clock, o LED equivalente a saída água acendeu.

Depois, foi testado a saída refrigerante. Para que o LED equivalente a essa saída fosse acionado, era possível com apenas uma combinação. Após ligado, foi deixado o m em zero para o primeiro clock, somando R\$ 0,50 dentro da máquina. Então, foi mudado m para 1, contabilizando R\$ 1,50 no segundo clock. Caso tivesse deixado o m em zero, eles contaria R\$ 1,00 e já daria a saída água. Após o segundo clock, é mudado m novamente para zero, para que seja contado mais R\$ 0,50, tendo, ao todo, R\$ 2,00 e acionando a saída refrigerante.

O último teste foi o da saída combo. A iniciação dela é bem parecida com a da saída refrigerante, porém, após chegar em R\$ 1,50, não mudamos m para zero. continuamos com m em 1, para que seja somado mais R\$ 1,00 na máquina, de forma a contabilizar R\$ 2,50 ao todo, acionando assim a saída combo.

5. Conclusão

Os resultados obtidos neste projeto satisfizeram a expectativa e se mostraram iguais aos teóricos. Além disso, foi possível seguir à risca os termos do projeto devido às simplificações especificadas para a máquina de bebidas.

Apesar da tabela de transição de estados se apresentar um pouco mais complexa que os projetos anteriores com 32 diferentes combinações, ou seja, entrada de 5 bits, ela se tornou um benefício para a compreensão do uso de mapas-K aplicados para mais de 4 entradas diferentes.

A simulação do circuito no software Proteus se mostrou essencial para a realização do projeto, pois uma implementação imediata na protoboard com os circuitos lógicos estaria sujeita a erros, implicando em um maior consumo de tempo para concluir o projeto. Uma vez montado o circuito seria quase impossível, caso não adotasse um código de cores para os fios, identificar qualquer erro.

6. Referências Bibliográficas

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10719 – Apresentação de relatórios técnico-científicos**. Rio de Janeiro: ABNT, Copyright © 1989.

Fairchild Semiconductor, “**Dual Master-Slave J-K Flip-Flops with Clear and Complementary Outputs**,” DM7473 datasheet, Sep. 1986 [Revised Feb. 2000].

Fairchild Semiconductor, “**Hex Inverting Gates**,” DM7404 datasheet, Aug. 1986 [Revised Feb. 2000].

Fairchild Semiconductor, “**Quad 2-Input OR Gate**,” DM74LS32 datasheet, Jun. 1986 [Revised Mar. 2000].

Fairchild Semiconductor, “**Triple 3-Input AND Gate**,” DM74LS11 datasheet, Aug. 1986 [Revised Mar. 2000].

MARCONI, Marina de A. & LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. Editora Atlas. São Paulo, 2003.

TOCCI, Ronald J. **Digital Systems: principles and applications**. 11 ed. Pearson Education India, 1991.

VAHID, Frank. **Sistemas Digitais: Projetos, Otimização e HDLs**. 1 ed. Editora Bookman, 2008.