

## 1.1 Arquitetura de um Computador

A arquitetura de um computador está relacionada com a estrutura e o comportamento de um computador sob o ponto de vista de um programador. Ela inclui

- formato de instruções,
- repertório de instruções,
- registradores (de dados, de endereços e de propósito específico),
- tamanho das palavras, e
- modos de endereçamento.

Para ilustrar o projeto das interfaces entre um microprocessador e os outros componentes de um computador, processadores MC68000 serão utilizados.

MC68000 é um processador com arquitetura de 32-bits, isto é, ele é capaz de tratar operações sobre os dados e endereços de até 32 bits. Porém, para comunicar com os outros componentes do computador, ele dispõe de 16 pinos (bits) para dados e 23 pinos (bits) para endereços.

## 1.2 Organização Básica de um Computador

Sob o ponto de vista funcional, um (micro)computador, seja embutido ou de propósito geral, é constituído essencialmente pelas seguintes unidades:

1. unidade central de processamento (UCP), que por sua vez compreende uma unidade de controle (UC) e uma unidade lógica e aritmética (ULA),
2. unidade de memória, e
3. unidade de entrada e saída (E/S).

A organização de um computador diz respeito ao projeto de cada uma destas unidades e a interligação entre elas, considerando as características elétricas, temporais e funcionais dos sinais envolvidos.

# Capítulo 1

## Introdução

Distinguem-se duas categorias de (micro)computadores: os de propósito geral e os embutidos. Um microcomputador de propósito geral corresponde ao que nós conhecemos por computador, capaz de atender uma grande variedade de aplicações; enquanto um microcomputador embutido é dedicado a uma tarefa específica. Pertencem à categoria de computadores embutidos os que se encontram nos caixas eletrônicos, nos “carros inteligentes” e nos fornos de microonda. Tipicamente, um computador embutido é transparente aos usuários e contém somente componentes estritamente necessários, em muitos casos integrados em uma simples pastilha/placa. Por outro lado, computadores de propósito geral são usualmente organizados em módulos interligados através de barramentos (de sistema) para facilitar a expansão tanto da capacidade de processamento e de armazenamento quanto dos periféricos. A modularização permite que um computador seja constituído por blocos “pré-fabricados” (comumente conhecidos por placas/controladores), desde que estes satisfaçam as especificações mecânicas, elétricas e protocolos do barramento de sistema.

### Observação

- Entendamos aqui por **protocolo** um conjunto de regras que dois dispositivos interligados precisam obedecer para garantir transferências corretas de informação.

### 1.2.1 Unidade Central de Processamento

Os circuitos de controle e de operações aritméticas e lógicas de uma unidade central de processamento são usualmente encontrados integrados em uma pastilha, conhecida como (micro)processador. A conexão deste processador com os outros componentes do computador demanda circuitos adicionais para controle, temporização e compatibilização elétrica. Destes circuitos destacam-se:

- relógio de sistema para sequenciar as operações do sistema e circuitos de inicialização/parada/reset;
- decodificador de endereços,
- retentores/"compatibilizadores" (*buffers* ou *drivers*) de sinais de dados e de endereços,
- circuito de controle de retentores/"compatibilizadores";
- circuito de arbitragem de barramento, e
- unidade de gerência de memória.

#### Observação

- Numa organização com uso de barramento (Fig. 1.1 do livro-texto) as unidades compartilham o mesmo conjunto de fios para transferência de informações. Neste caso, denominamos **mestres de barramento**: unidades que controlam o uso de barramentos de endereços e dados.
- escravos de barramento**: unidades que são acessadas pelo mestre.
- Quando existe mais de um mestre de barramento em um sistema, sinais adicionais e um circuito de arbitragem são necessários para solicitar o controle de barramento e conceder o controle de barramento a um deles seguindo alguma estratégia pré-estabelecida.

### 1.2.2 Unidade de Memória

Funcionalmente, uma unidade de memória consiste de um conjunto de células de armazenamento. A diversidade dos componentes de memória disponíveis no mercado exige que os projetistas conheçam as características destes componentes para assegurar que o seu projeto seja um bom compromisso entre o desempenho e o custo. Conforme veremos nesta disciplina, dependendo da tecnologia da memória escolhida, circuitos adicionais são necessários para garantir a sua correta operação.

### 1.2.3 Unidade de Entrada/Saída

A unidade de entrada/saída compreende um conjunto de circuitos que possibilitam o interfazamento de um microcomputador com o mundo exterior, como teclados, impressoras, *mouses*, sensores, acionadores, escanreadores e vídeos, com o objetivo de garantir que eles trabalhem de forma sincronizada e eletricamente compatível. Estes circuitos podem ser encontrados no mercado em forma de pastilhas, placas ou distribuídos em outras unidades, tais como placas de vídeo, controladores de disco, controladores de DMA.

## 1.3 Operação de um Computador

O computador é uma máquina que executa instruções continuamente. Cada ciclo de instrução compreende, por sua vez, duas operações básicas: a busca e a execução de uma instrução armazenada na unidade de memória. Ao ligar um computador, o contador de programa CP na unidade central de processamento é carregado com o endereço da instrução inicial. A instrução é trazida da Unidade de Memória para a Unidade de Controle, onde é decodificada e são gerados os sinais de controle apropriados para o resto das unidades e fim de executar a operação correspondente. Concluída a operação, inicia-se um novo ciclo com a busca da próxima instrução utilizando o endereço atualizado no contador de programa. E assim sucessivamente até que seja desligado o computador. Tanto o modo de operação (supervisor ou usuário, execução passo-a-passo, etc) quanto os resultados das operações aritméticas e lógicas em cada ciclo (se é zero, negativo ou *overflow*) são indicados no registrador de estado SR. Fig. 2.5 do livro-texto (p. 24) mostra o significado de cada bit do registrador de estado do MC68000.

O formato exato de uma palavra de instrução depende da arquitetura da máquina. Essencialmente ela contém dois tipos de informação: o **código de operação**, do qual geram-se os sinais de controle e o(s) endereço(s) do(s) operando(s) sobre os quais estes sinais atuam. Processadores sofisticados provêm ainda diferentes modos de endereçamento, ou seja, diferentes formas para especificar o endereço de um operando. No caso de MC68000, 5 classes de modos de endereçamento são suportados: imediato, absoluto, por registrador diretamente, por registrador indiretamente e relativo ao contador de programa. Esta diversidade facilita a implementação de estruturas de dados complexas como tabelas, vetores, pilhas e matrizes.

O fluxo de dados entre UCP e as outras unidades pode ser de forma

**síncrona:** Os tempos alocados para cada operação são pré-definidos em função de uma base de tempo comum (p. ex., um tempo para endereço válidos nos pinos seguido de um tempo para dados válidos nos pinos). Se a velocidade das unidades forem incompatíveis com estes tempos, os dados transferidos podem ser inválidos.

**assíncrona:** Há um sinal de controle adicional para sincronizar as operações que podem ocorrer em qualquer tempo. Por exemplo, num ciclo de leitura a Unidade de Memória pode “avisar” a UCP com um sinal (de controle) quando os dados disponíveis nos seus pinos são os endereçados pela UCP.

---

### Exercícios de Revisão

1. Qual é a organização básica de um computador? Descreva sucintamente as funções de cada unidade.
2. Qual é a diferença entre um computador e um processador?
3. O que são mestres e escravos de barramento?
4. O que significa interfazamento em um sistema computacional?
5. Quais são as operações básicas que se repetem continuamente em um computador?
6. Qual é a função de um contador de programa?

7. Qual é a função de um registrador de estado?
8. O que é um código de operação?
9. O que são modos de endereçamento?
10. O que você entende por transfeências síncronas e assíncronas em um sistema computacional?

---

## 1.4 Componentes Digitais

As unidades de um computador são constituídas de componentes digitais cujas características elétricas e temporais são especificadas pelos fabricantes. Elas podem ser encontradas nos *data sheets* e *handbooks*. Circuitos integrados de mesma série são projetados para serem conectados sem grandes problemas elétricos, desde que o fator de carga seja observado. No entanto, no projeto de um sistema digital mais complexo, como um computador, é comum utilizar componentes de distintas tecnologias para aproveitar os pontos positivos de cada um (Fig. 10.5 do livro-texto – p. 768). Cabe então ao projetista especificar circuitos de interface elétrica entre eles e analisar as suas relações temporais.

### 1.4.1 Características Elétricas

As características elétricas de um circuito integrado são usualmente fornecidas através dos seguintes parâmetros:

$V_{IL}(\max)$ : é o nível de tensão máximo que se garante ser interpretado como nível “0” na entrada.

$V_{IH}(\min)$ : é o nível de tensão mínimo que se garante ser interpretado como nível “1” na entrada.

$V_{OL}(\max)$ : é o nível de tensão máximo que se garante ser interpretado como nível “0” na saída.

$V_{OH}(\min)$ : é o nível de tensão mínimo que se garante ser interpretado como nível “1” na saída.

$I_L$ : é a corrente que flui para entrada quando se aplica  $V_{IL}$ .

$I_{IH}$ : é a corrente que flui para entrada quando se aplica  $V_{IH}$ .

$I_{OL}$ : é a corrente que sai da saída em nível lógico "0" sob certas condições de carga.

$I_{OH}$ : é a corrente que sai da saída em nível lógico "1" sob certas condições de carga.

É importante ressaltar que existe uma faixa central de indecisão onde o nível lógico não está perfeitamente definido, podendo produzir respostas imprevisíveis.

**Definição 1.1 Imunidade de ruído** de um circuito lógico refere à habilidade do circuito tolerar o ruído sem causar mudanças espúrias na tensão de saída. A medida quantitativa desta imunidade é a **margem de ruído**.

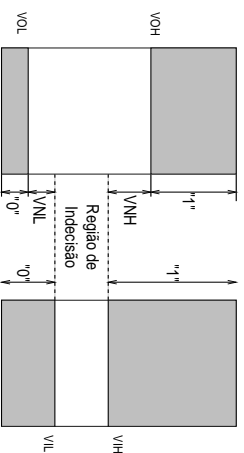
**Definição 1.2 Margem de ruído para nível alto:** é o maior (em módulo) valor de tensão (negativa) que pode aparecer como ruído na entrada sem levar o dispositivo à região de indecisão.

$$V_{NH} = V_{OH} - V_{IH}$$

**Definição 1.3 Margem de ruído para nível baixo:** é o maior (em módulo) valor de tensão (positiva) que pode aparecer como ruído na entrada sem levar o dispositivo à região de indecisão.

$$V_{NL} = V_{IL} - V_{OL}$$

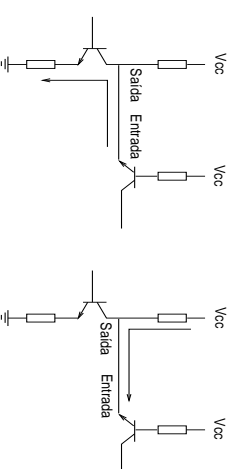
As margens de ruído variam com a temperatura e com a utilização do CI.  
Nível de Tensão de Saída (O)      Nível de Tensão de Entrada (I)



Em geral, a saída de um circuito lógico é utilizada para acionar (*drive*) várias entradas. Chamamos de *fan-out*, ou fator de carga, o número máximo de entradas que uma saída consegue alimentar sem problemas. Dizemos que a saída de um circuito em relação à sua carga tem

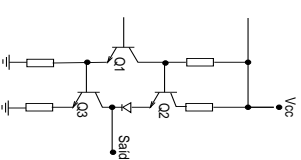
**ação de fonte**, quando uma pequena corrente de fuga flui da saída de um dispositivo acionador (*driver*) para a entrada do próximo estágio.

**ação de dreno**, quando o dispositivo acionador (*driver*) drena a corrente para o terra.

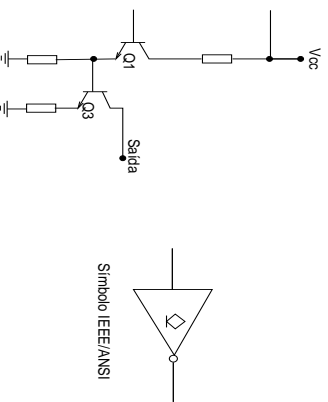


Quanto ao estágio de saída de cada pino de um componente digital, distinguem-se três configurações (pp. 773 – 778 do livro-texto):

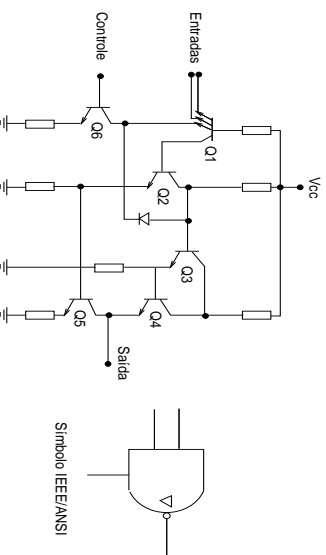
**Totem-pole**: quando o coletor (TTL)/dreno (CMOS) do transistor no estágio de saída é ligado internamente com a fonte de alimentação através de um transistor e um diodo em série. Por representar uma carga resistiva pequena, esta configuração é muito usada para alimentar as cargas capacitivas sem diminuir a velocidade de chaveamento.



**Coletor Aberto(TTL)/Dreno Aberto(MOS)** : quando o coletor(TTL)/dreno(MOS) do transistor no estágio de saída não está ligado a uma fonte de alimentação. Para que o mesmo funcione, é necessário ligar o pino de saída a uma fonte externa. E para evitar sobrecarga no transistor  $Q_3$ , é comum ainda fazer esta ligação através de um resistor de *pull-up*.



**Três-Estados** : quando a saída pode assumir um dos três estados: nível falso, nível verdadeiro e impedância alta (circuito aberto). Neste caso, há um pino de controle adicional para determinar o estado de saída.



Basicamente predominam duas famílias de componentes lógicos em um computador: de tecnologia TTL (*transistor-transistor logic*) e de tecnologia

CMOS (*complementary-symmetry metal-oxide-semiconductor*). Nas Tabelas 10.1 e 10.2 do livro-texto (pp. 769 – 770) encontram-se algumas características elétricas dos circuitos integrados destas duas famílias. A partir dos dados destas tabelas, é fácil concluir que a interconexão entre componentes de distintas tecnologias (com características elétricas diferentes) requer circuitos de interface para compatibilizar seus níveis elétricos.

De modo geral, valem as seguintes observações:

#### TTL acionando CMOS :

- Os valores da corrente de entrada de CMOS são extremamente baixos em relação aos valores da corrente de saída provida pela família TTL. Portanto, TTL sempre satisfaz este requisito.
- A tensão de saída de TTL é baixa em relação à tensão de entrada requerida por algumas séries de CMOS. Uma solução para isso é utilizar resistor *pull-up*.
- Quando a tensão de alimentação,  $V_{DD}$ , é maior que 5V (p. ex., 10V), CMOS requer uma tensão de entrada maior que 5V, que é proibitiva para TTL. Assim, não se aplica mais a solução anterior. Uma alternativa é utilizar portas da série LSTTL de alguns fabricantes (p.ex, Fairchild) que opere com a saída elevada a 10V.

#### CMOS acionando TTL :

- Os valores da corrente e da tensão de entrada de TTL são menores que os valores de CMOS quando TTL está em nível “verdadeiro”. Portanto, nenhuma consideração adicional é necessária.
- Os valores de corrente de entrada de TTL em nível “falso” são relativamente altos, podendo exceder o *fan-out* do CMOS. Neste caso, pode-se utilizar portas de três-estados para interfacear os dois componentes.
- Quando a tensão de alimentação,  $V_{DD}$ , é maior que 5V (p. ex., 15V), a tensão de saída de um CMOS no nível “verdadeiro” excede o valor permitido pela família TTL. Neste caso, pode-se utilizar um *voltage-level translator* para reduzir a a valor da tensão para 5V.

### Exercícios de Revisão

1. Explique os parâmetros:  $V_{OH}$ ,  $V_{OL}$ ,  $V_{IH}$ ,  $V_{IL}$ ,  $I_{OH}$ ,  $I_{OL}$ ,  $I_{IH}$ ,  $I_{IL}$ ,  $V_{NH}$ ,  $V_{NL}$ .
2. O que é imunidade de ruído?
3. O que é fator de carga? Supondo que o fator de carga de uma porta seja 5, podemos SEMPRE ligar na sua saída 5 cargas?
4. Qual é a diferença entre ação de dreno e ação de fonte de uma saída?
5. Explique as três configurações de saída de um dispositivo lógico.
6. Qual é a função de um resistor *pull-up*?
7. Qual é a notação recomendada pela IEEE/ANSI para designar as configurações de saída de coletor aberto e três-estados?
8. Os dispositivos de tecnologia CMOS são eletricamente compatíveis com os dispositivos TTL?
9. O que voce entende por interfaces entre componentes digitais?

### 1.4.2 Características Temporais

Vocês já tiveram a oportunidade de constatar no laboratório da disciplina EA773 que a transição entre dois estados em um dispositivo digital nunca ocorre instantaneamente. É, porém, comum considerar mudança instantânea, quando o tempo da transição for muito menor do que o tempo entre duas transições. Ainda mais, existem atrasos na resposta de um dispositivo. Estes atrasos variam com a velocidade de chaveamento de cada tecnologia. Estas informações estão relacionadas com os diversos tempos fornecidos pelos fabricantes:

$t_{PLH}$ : tempo de transição do nível baixo para o nível alto.

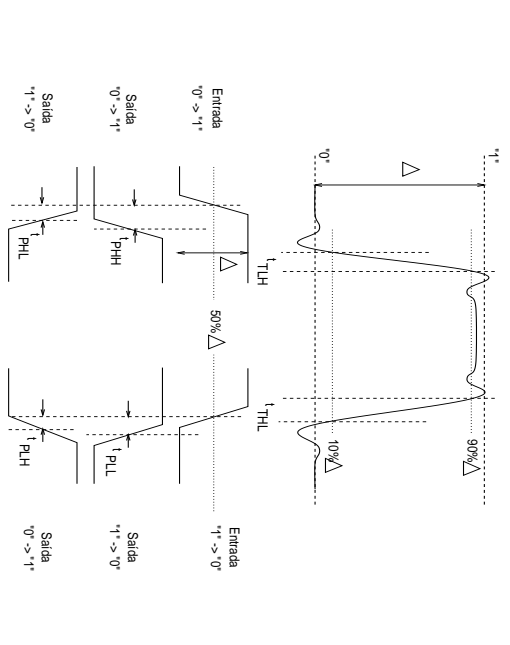
$t_{PHL}$ : tempo de transição do nível alto para o nível baixo.

$t_{PHL}$ : tempo de propagação para a saída com o sinal de entrada variando do nível baixo para o nível alto e de saída, do nível alto para baixo.

$t_{PLH}$ : tempo de propagação para a saída com o sinal de entrada variando do nível alto para o nível baixo e de saída, do nível baixo para alto.

$t_{PHL}$ : tempo de propagação para a saída com os sinais de entrada e de saída variando do nível baixo para o nível alto.

$t_{PLL}$ : tempo de propagação para a saída com os sinais de entrada e de saída variando do nível alto para o nível baixo.



#### Observações:

- Quanto menor for o tempo de transição, maior é a velocidade de chaveamento.
- Em geral, os tempos de propagação não são iguais. Elas dependem das condições de cargas capacitivas.

- Os tempos de propagação são utilizados para medir a velocidade relativa entre dois circuitos lógicos.

Quando se trata de dispositivos cujos estados mudam em função da borda de subida/descida (transição ativa) de um sinal de gatilho – normalmente, o relógio do sistema – os seguintes parâmetros adicionais são utilizados para caracterizar o seu correto funcionamento (pp. 219 – 221 e Fig. 4.12 do livro-texto):

**tempo de setup:** tempo mínimo que o sinal de entrada deve se manter estável antes da transição ativa do sinal de gatilho;

**tempo de hold:** tempo mínimo que o sinal de entrada deve se manter estável após a transição ativa do sinal de gatilho.

**frequência máxima ( $f_{MAX}$ ):** frequência máxima que o sinal de gatilho pode ter.

**largura do pulso do sinal de gatilho ( $t_{mL}$  e  $t_{mH}$ ):** tempo em que o sinal de gatilho mantém no nível baixo ou no nível alto.

Os diagramas de tempo são amplamente utilizados para mostrar a variação dos sinais digitais em função do tempo, e especialmente para mostrar a relação entre dois ou mais sinais num mesmo circuito ou sistema. A utilização destes diagramas passa a ser perceptível no projeto de sistemas complexos, onde existem interdependências entre vários sinais. Esboçando as relações destes sinais em diagramas, facilita-se a visualização e a análise das restrições e possíveis violações temporais.

Existem diversas ferramentas assistidas por computador que auxiliam a modelagem e a análise dos diagramas de tempo.

### Exercícios de Revisão

1. Explique os parâmetros:  $t_{PLH}$ ,  $t_{PHL}$ ,  $t_{PLH}$  e  $t_{PHL}$ .
2. O que é tempo de *setup*?
3. O que é tempo de *hold*?
4. O que você entende por sinal de gatilho (*trigger*)?

5. O que é uma transição ativa de um sinal?

### 1.4.3 Características Funcionais

Cada sinal/pino de um dispositivo digital é provido de uma função/semântica. Esta função e a dependência funcional entre os sinais são fornecidas pelos fabricantes através do esquema de pinagem, das tabelas de função e dos diagramas de bloco funcional. No caso dos componentes digitais utilizados nos computadores é usual agrupar estes sinais em: sinais de dados, sinais de endereço e sinais de controle.

## 1.5 Objetivos desta Disciplina

Na disciplina EA869 foi apresentada a arquitetura básica de um computador genérico e algumas noções sobre a sua organização. Na disciplina EA870 foi visto detalhadamente o modo de programação dos microprocessadores 68000. Uma boa revisão se encontra no capítulo 2 do livro-texto (pp. 13 – 81). Nesta disciplina aprofundaremos no aspecto organizacional de um computador. Serão apresentados

- a interface de um microprocessador;
- diferentes tecnologias de memória;
- interfaces analógicas/digitais e digitais/analogicas;
- modelagem e análise das relações temporais entre os componentes de um computador com uso de diagramas de tempo;
- soluções alternativas para integrar diferentes componentes digitais para constituir um (micro)computador com distintas capacidades; e
- barramentos de sistema.

## 1.6 Auto-avaliação

Após este capítulo, você deve ser capaz de:

- distinguir a arquitetura e a organização de um (micro) computador;
- descrever a organização básica de um (micro) computador e as principais funções de cada unidade;
- distinguir um microprocessador e um microcomputador;
- saber o que é um sinal TTL-compatible e um sinal CMOS-compatible e a ordem de grandeza dos valores dos seus parâmetros elétricos;
- saber caracterizar as três configurações de saída: *totem-pole*, coletor aberto e três-estados;
- saber o que é tempo de *hold* e tempo de *setup*;
- saber modelar e analisar os tempos de um dispositivo digital com uso de diagramas de tempo;
- saber identificar nas especificações fornecidas pelos fabricantes (*data sheets* ou *databook*) as características elétricas, temporais e funcionais de um dispositivo;
- descrever os três principais conjuntos de sinais entre as unidades de um (micro) computador;
- distinguir a diferença e a semelhança do conteúdo desta disciplina em relação às disciplinas EA869 e EA870;
- saber as funções de cada bloco na Figura 1.1 do livro-texto; e
- definir o papel de um projetista de um (micro) computador.

## 1.7 Lista de Exercícios

1. A partir das especificações do contador CT74176 e da memória HM62256A-15 cujos manuais se encontram no Almochariado, identificar
  - (a) as funções de cada pino/sinal e as relações funcionais entre estes sinais;
  - (b) as configurações de saída de cada pino;

- (c) as restrições elétricas em condições normais de operação; e
  - (d) as restrições temporais em condições normais de operação.
2. Sejam os seguintes valores temporais para os *flip-flops* 7474 (D), 74LS112 (JK), 74C74 (D) e 74HC112 (JK) com  $CLR$  e  $PRE$  (com exceção dos atrasos de propagação, os valores são mínimos)
 

	TTL		CMOS	
	7474	74LS112	74C74	74HC112
tempo de <i>setup</i> (ns)	20	20	60	25
tempo de <i>hold</i> (ns)	5	0	0	0
$t_{PHL}$ (entre CLK e saída Q, ns)	40	24	200	31
$t_{PLH}$ (entre CLK e saída Q, ns)	25	16	200	31
$t_{PHL}$ (entre $\overline{CLR}$ e saída Q, ns)	40	24	225	41
$t_{PLH}$ (entre $PRE$ e saída Q, ns)	25	16	225	41
$t_{\text{out}}$ (do sinal CLK, ns)	37	15	100	25
$t_{\text{out}(H)}$ (do sinal CLK, ns)	30	20	100	25
$t_{\text{out}(L)}$ (dos sinais $CLR$ e $PRE$ , ns)	30	15	60	25
$f_{MAX}$ (MHz)	15	30	5	20

Responda:

- (a) Assuma  $Q=0$ . Quanto tempo é necessário para  $Q$  passar para o nível alto na ocorrência de uma transição ativa no sinal CLK em 7474?
- (b) Assuma  $Q=1$ . Quanto tempo é necessário para  $Q$  passar para o nível baixo em resposta a ativação do sinal  $\overline{CLR}$  em 74HC112?
- (c) Qual é a menor largura de pulso confiável do sinal  $\overline{CLR}$  a ser aplicado em 74LS112 para resetá-lo?
- (d) Qual dos *flip-flops* requer que o sinal de entrada mantenha estável após a ocorrência da transição ativa do CLK?
- (e) Qual dos *flip-flops* requer que o sinal de entrada esteja estável antes da ocorrência da transição ativa do CLK?
- (f) Qual dos *flip-flops* pode operar de forma confiável com a frequência de CLK igual a 16 MHz?
- (g) Se a frequência do CLK for 1 MHz, a frequência da saída  $Q$  é menor ou igual a 1 MHz?