

Introdução aos Microcontroladores

PIC



16F84A

Introdução aos Microcontroladores

Introdução

As circunstâncias que se nos deparam hoje no campo dos microcontroladores têm os seus primórdios no desenvolvimento da tecnologia dos circuitos integrados. Este desenvolvimento tornou possível armazenar centenas de milhares de transístores num único chip. Isso constituiu um pré-requisito para a produção de microprocessadores e, os primeiros computadores foram construídos adicionando periféricos externos tais como memória, linhas de entrada e saída, temporizadores e outros. Um crescente aumento do nível de integração, permitiu o aparecimento de circuitos integrados contendo simultaneamente processador e periféricos. Foi assim que o primeiro chip contendo um microcomputador e que mais tarde haveria de ser designado por microcontrolador, apareceu.

História

É no ano de 1969 que uma equipa de engenheiros japoneses pertencentes à companhia BUSICOM chega aos Estados Unidos com a encomenda de alguns circuitos integrados para calculadoras a serem implementados segundo os seus projectos. A proposta foi entregue à INTEL e Marcian Hoff foi o responsável pela sua concretização. Como ele tinha tido experiência de trabalho com um computador (PC) PDP8, lembrou-se de apresentar uma solução substancialmente diferente em vez da construção sugerida. Esta solução pressupunha que a função do circuito integrado seria determinada por um programa nele armazenado. Isso significava que a configuração deveria ser mais simples, mas também era preciso muito mais memória que no caso do projecto proposto pelos engenheiros japoneses. Depois de algum tempo, embora os engenheiros japoneses tenham tentado encontrar uma solução mais fácil, a ideia de Marcian venceu e o primeiro microprocessador nasceu. Ao transformar esta ideia num produto concreto, Frederico Faggin foi de uma grande utilidade para a INTEL. Ele transferiu-se para a INTEL e, em somente 9 meses, teve sucesso na criação de um produto real a partir da sua primeira concepção. Em 1971, a INTEL adquiriu os direitos sobre a venda deste bloco integral. Primeiro eles compraram a licença à companhia BUSICOM que não tinha a mínima percepção do tesouro que possuía. Neste mesmo ano, apareceu no mercado um microprocessador designado por 4004. Este foi o primeiro microprocessador de 4 bits e tinha a velocidade de 6 000 operações por segundo. Não muito tempo depois, a companhia Americana CTC pediu à INTEL e à Texas Instruments um microprocessador de 8 bits para usar em terminais. Mesmo apesar de a CTC acabar por desistir desta ideia, tanto a Intel como a Texas Instruments continuaram a trabalhar no microprocessador e, em Abril de 1972, os primeiros microprocessadores de 8 bits apareceram no mercado com o nome de 8008. Este podia endereçar 16KB de memória, possuía 45 instruções e tinha a velocidade de 300 000 operações por segundo. Esse microprocessador foi o pioneiro de todos os microprocessadores actuais. A Intel continuou com o desenvolvimento do produto e, em Abril de 1974 pôs cá fora um processador de 8 bits com o nome de 8080 com a capacidade de endereçar 64KB de memória, com 75 instruções e com preços a começarem em \$360.

Uma outra companhia Americana, a Motorola, apercebeu-se rapidamente do que estava a acontecer e, assim, pôs no mercado um novo microprocessador de 8 bits, o 6800. O construtor chefe foi Chuck Peddle e além do microprocessador propriamente dito, a Motorola foi a primeira companhia a fabricar outros periféricos como os 6820 e 6850. Nesta altura, muitas companhias já se tinham apercebido da enorme importância dos microprocessadores e começaram a introduzir os seus próprios desenvolvimentos. Chuck Peddle deixa a Motorola para entrar para a MOS Technology e continua a trabalhar intensivamente no desenvolvimento dos microprocessadores.

Em 1975, na exposição WESCON nos Estados Unidos, ocorreu um acontecimento crítico na história dos microprocessadores. A MOS Technology anunciou que ia pôr no mercado microprocessadores 6501 e 6502 ao preço de \$25 cada e que podia satisfazer de imediato todas as encomendas. Isto pareceu tão sensacional que muitos pensaram tratar-se de uma espécie de vigarice, considerando que os competidores vendiam o 8080 e o 6800 a \$179 cada. Para responder a este competidor, tanto a Intel como a Motorola baixaram os seus preços por microprocessador para \$69,95 logo no primeiro dia da exposição. Rapidamente a Motorola pôs uma acção em tribunal contra a MOS Technology e contra Chuck Peddle por violação dos direitos

de autor por copiarem ao copiarem o 6800. A MOS Technology deixou de fabricar o 6501, mas continuou com o 6502. O 6502 é um microprocessador de 8 bits com 56 instruções e uma capacidade de endereçamento de 64KB de memória. Devido ao seu baixo custo, o 6502 torna-se muito popular e, assim, é instalado em computadores como KIM-1, Apple I, Apple II, Atari, Comodore, Acorn, Oric, Galeb, Orac, Ultra e muitos outros. Cedo aparecem vários fabricantes do 6502 (Rockwell, Sznertek, GTE, NCR, Ricoh e Comodore adquiriram a MOS Technology) que, no auge da sua prosperidade, chegou a vender microprocessadores à razão de 15 milhões por ano !

Contudo, os outros não baixaram os braços. Frederico Faggin deixa a Intel e funda a Zilog Inc. Em 1976, a Zilog anuncia o Z80. Durante a concepção deste microprocessador, Faggin toma uma decisão crítica. Sabendo que tinha sido já desenvolvida uma enorme quantidade de programas para o 8080, Faggin conclui que muitos vão permanecer fieis a este microprocessador por causa das grandes despesas que adviriam das alterações a todos estes programas. Assim, ele decide que o novo microprocessador deve ser compatível com o 8080, ou seja, deve ser capaz de executar todos os programas que já tenham sido escritos para o 8080. Além destas características, outras características adicionais foram introduzidas, de tal modo que o Z80 se tornou um microprocessador muito potente no seu tempo. Ele podia endereçar directamente 64KB de memória, tinha 176 instruções, um grande número de registos, uma opção para refrescamento de memória RAM dinâmica, uma única alimentação, maior velocidade de funcionamento, etc. O Z80 tornou-se um grande sucesso e toda a gente se transferiu do 8080 para o Z80. Pode dizer-se que o Z80 se constituiu sem sombra de dúvida como o microprocessador de 8 bits com maior sucesso no seu tempo. Além da Zilog, outros novos fabricantes como Mostek, NEC, SHARP e SGS apareceram. O Z80 foi o coração de muitos computadores como o Spectrum, Partner, TRS703, Z-3 e Galaxy, que foram aqui usados.

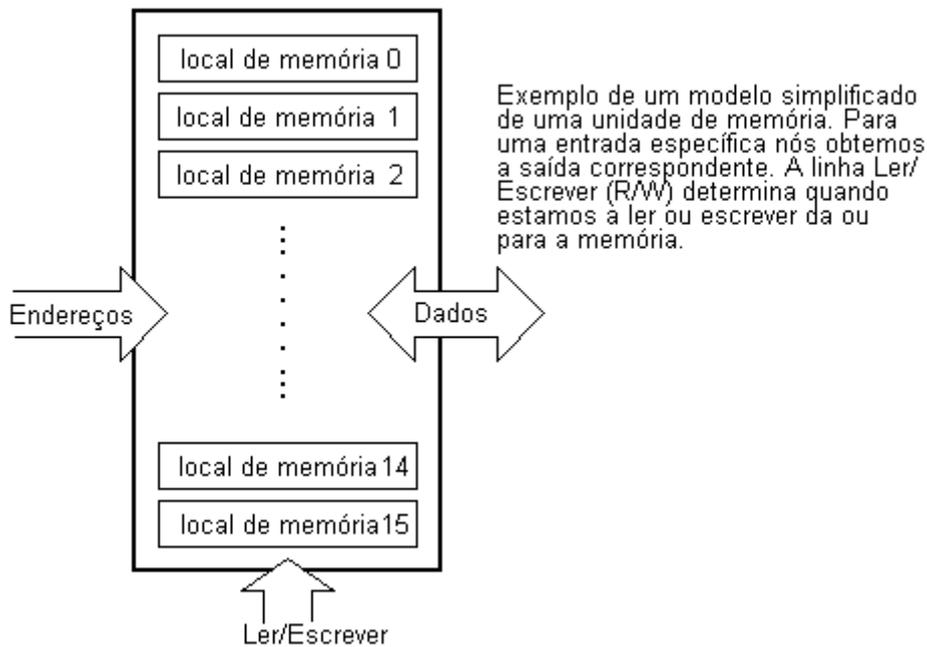
Em 1976, a Intel apareceu com uma versão melhorada do microprocessador de 8 bits e designada por 8085. Contudo, o Z80 era tão superior a este que, bem depressa, a Intel perdeu a batalha. Ainda que mais alguns microprocessadores tenham aparecido no mercado (6809, 2650, SC/MP etc.), já tudo estava então decidido. Já não havia mais grandes melhorias a introduzir pelos fabricantes que fundamentassem a troca por um novo microprocessador, assim, o 6502 e o Z80, acompanhados pelo 6800, mantiveram-se como os mais representativos microprocessadores de 8 bits desse tempo.

Microcontroladores versus Microprocessadores

Um microcontrolador difere de um microprocessador em vários aspectos. Primeiro e o mais importante, é a sua funcionalidade. Para que um microprocessador possa ser usado, outros componentes devem-lhe ser adicionados, tais como memória e componentes para receber e enviar dados. Em resumo, isso significa que o microprocessador é o verdadeiro coração do computador. Por outro lado, o microcontrolador foi projectado para ter tudo num só. nenhuns outros componentes externos são necessários nas aplicações, uma vez que todos os periféricos necessários já estão contidos nele. Assim, nós poupamos tempo e espaço na construção dos dispositivos.

1.1 Unidade de Memória

A memória é a parte do microcontrolador cuja função é guardar dados. A maneira mais fácil de explicar é descrevê-la como uma grande prateleira cheia de gavetas. Se supusermos que marcamos as gavetas de modo a elas não se confundirem umas com as outras, então o seu conteúdo será facilmente acessível. Basta saber a designação da gaveta e o seu conteúdo será conhecido.

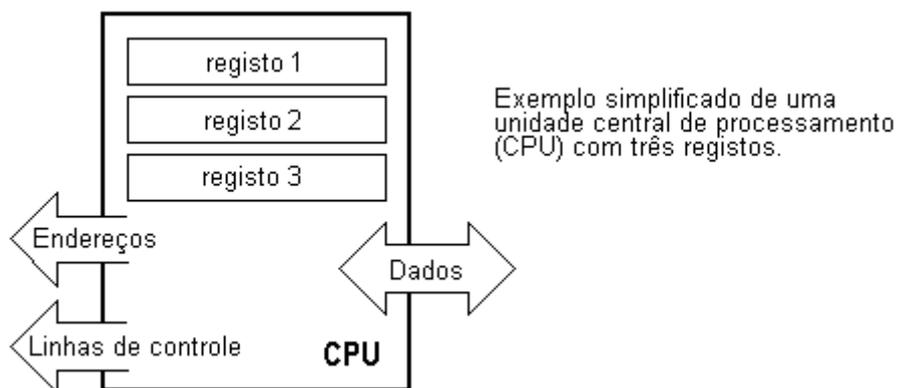


Os componentes de memória são exactamente a mesma coisa. Para um determinado endereço, nós obtemos o conteúdo desse endereço. Dois novos conceitos foram apresentados: endereçamento e memória. A memória é o conjunto de todos os locais de memória (gavetas) e endereçamento nada mais é que seleccionar um deles. Isto significa que precisamos de seleccionar o endereço desejado (gaveta) e esperar que o conteúdo desse endereço nos seja apresentado (abrir a gaveta). Além de ler de um local da memória (ler o conteúdo da gaveta), também é possível escrever num endereço da memória (introduzir um conteúdo na gaveta). Isto é feito utilizando uma linha adicional chamada linha de controle. Nós iremos designar esta linha por R/W (read/write) - ler/escrever. A linha de controle é usada do seguinte modo: se r/w=1, é executada uma operação de leitura, caso contrário é executada uma operação de escrita no endereço de memória.

A memória é o primeiro elemento, mas precisamos de mais alguns para que o nosso microcontrolador possa trabalhar.

1.2 Unidade Central de Processamento

Vamos agora adicionar mais 3 locais de memória a um bloco específico para que possamos ter as capacidades de multiplicar, dividir, subtrair e mover o seus conteúdos de um local de memória para outro. A parte que vamos acrescentar é chamada "central processing unit" (CPU) ou Unidade Central de Processamento. Os locais de memória nela contidos chamam-se registos.



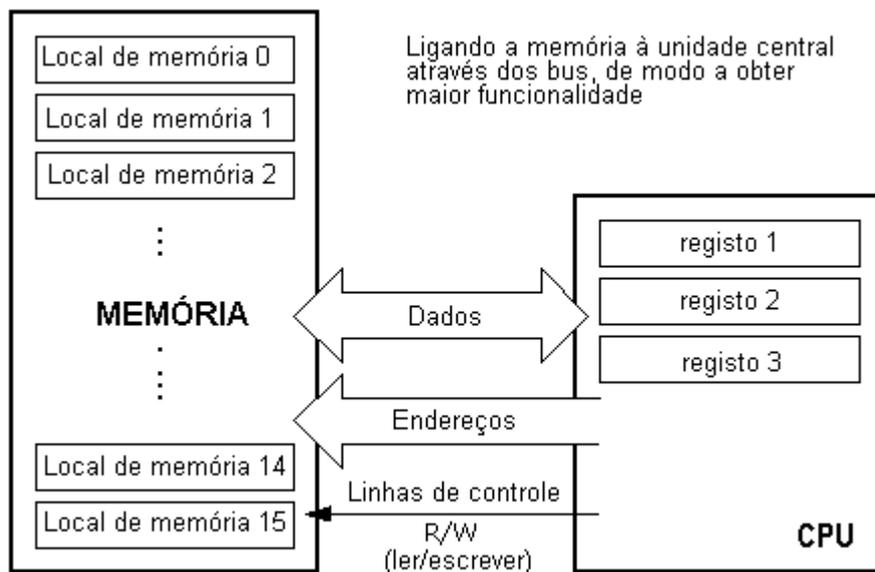
Os registos são, portanto, locais de memória cujo papel é ajudar a executar várias operações matemáticas ou quaisquer outras operações com dados, quaisquer que sejam os locais em que estes se encontrem.

Vamos olhar para a situação actual. Nós temos duas entidades independentes (memória e CPU) que estão interligadas, deste modo, qualquer troca de dados é retardada bem como a funcionalidade do sistema é diminuída. Se, por exemplo, nós desejarmos adicionar os conteúdos de dois locais de memória e tornar a guardar o resultado na memória, nós necessitamos de uma ligação entre a memória e o CPU. Dito mais simplesmente, nós precisamos de obter um "caminho" através do qual os dados possam passar de um bloco para outro.

1.3 Bus

Este "caminho" designa-se por "bus" . Fisicamente ele corresponde a um grupo de 8, 16 ou mais fios.

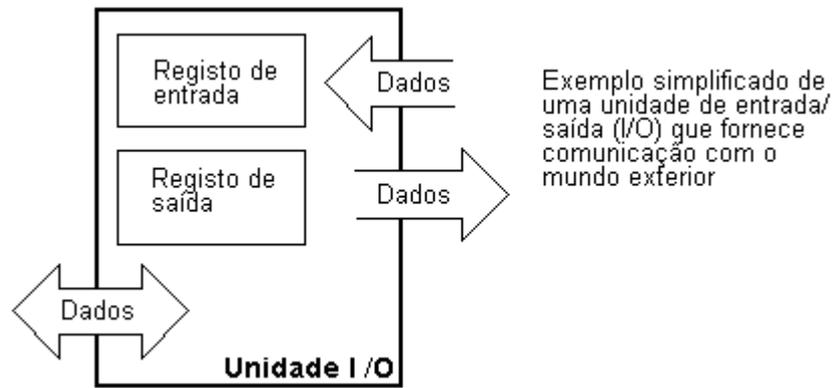
Existem dois tipos de bus: bus de dados e de endereço. O número de linhas do primeiro depende da quantidade de memória que desejamos endereçar e o número de linhas do outro depende da largura da palavra de dados, no nosso caso é igual a oito. O primeiro bus serve para transmitir endereços do CPU para a memória e o segundo para ligar todos os blocos dentro do microcontrolador.



Neste momento, a funcionalidade já aumentou mas um novo problema apareceu: nós temos uma unidade capaz de trabalhar sozinha, mas que não possui nenhum contacto com o mundo exterior, ou seja, conosco! De modo a remover esta deficiência, vamos adicionar um bloco que contém várias localizações de memória e que, de um lado, está ligado ao bus de dados e do outro às linhas de saída do microcontrolador que coincidem com pinos do circuito integrado e que, portanto, nós podemos ver com os nossos próprios olhos.

1.4 Unidade de entrada/saída

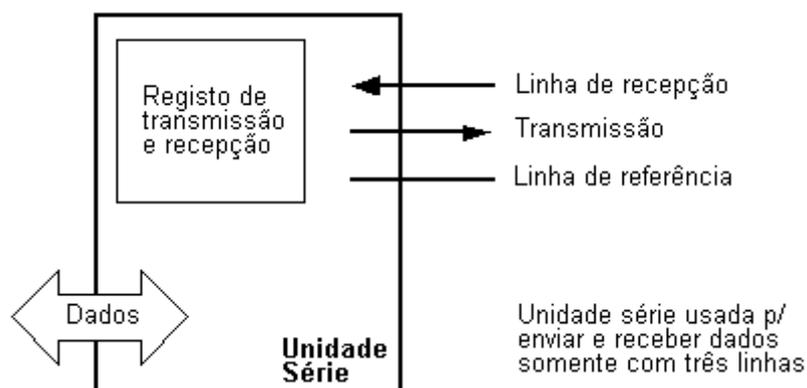
Estas localizações que acabamos de adicionar, chamam-se "portos". Existem vários tipos de portos: de entrada, de saída e de entrada/saída. Quando trabalhamos com portos primeiro de tudo é necessário escolher o porto com que queremos trabalhar e, em seguida, enviar ou receber dados para ou desse porto.



Quando se está a trabalhar com ele, o porto funciona como um local de memória. Qualquer coisa de que se está a ler ou em que se está a escrever e que é possível identificar facilmente nos pinos do microcontrolador.

1.5 Comunicação série

Anteriormente, acrescentámos à unidade já existente a possibilidade de comunicar com o mundo exterior. Contudo, esta maneira de comunicar tem os seus inconvenientes. Um dos inconvenientes básicos é o número de linhas que é necessário usarmos para transferir dados. E se for necessário transferi-los a uma distância de vários quilómetros? O número de linhas vezes o número de quilómetros não atesta a economia do projecto. Isto leva-nos a ter que reduzir o número de linhas de modo a que a funcionalidade se mantenha. Suponha que estamos a trabalhar apenas com três linhas e que uma linha é usada para enviar dados, outra para os receber e a terceira é usada como linha de referência tanto do lado de entrada como do lado da saída. Para que isto trabalhe nós precisamos de definir as regras para a troca de dados. A este conjunto de regras chama-se protocolo. Este protocolo deve ser definido com antecedência de modo que não haja mal entendidos entre as partes que estão a comunicar entre si. Por exemplo, se um homem está a falar em francês e o outro em inglês, é altamente improvável que efectivamente e rapidamente, ambos se entendam. Vamos supor que temos o seguinte protocolo. A unidade lógica "1" é colocada na linha de transmissão até que a transferência se inicie. Assim que isto acontece, a linha passa para nível lógico '0' durante um certo período de tempo (que vamos designar por T), assim, do lado da recepção ficamos a saber que existem dados para receber e, o mecanismo de recepção, vai activar-se. Regressemos agora ao lado da emissão e comecemos a pôr zeros e uns lógicos na linha de transmissão correspondentes aos bits, primeiro o menos significativo e finalmente o mais significativo. Vamos esperar que cada bit permaneça na linha durante um período de tempo igual a T, e, finalmente, depois do oitavo bit, vamos pôr novamente na linha o nível lógico "1", o que assinala a transmissão de um dado. O protocolo que acabamos de descrever é designado na literatura profissional por NRZ (Não Retorno a Zero).

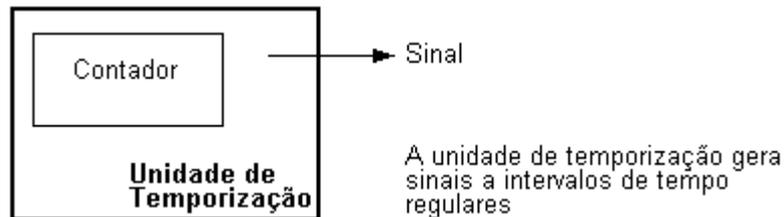


Como nós temos linhas separadas para receber e enviar, é possível receber e enviar dados (informação) simultaneamente. O bloco que possibilita este tipo de comunicação é designado por bloco de comunicação série. Ao contrário da transmissão em paralelo, aqui os dados movem-se bit após bit em série, daqui provém o nome de comunicação série. Depois de receber dados nós

precisamos de os ler e guardar na memória, no caso da transmissão de dados o processo é inverso. Os dados vêm da memória através do bus para o local de transmissão e dali para a unidade de recepção de acordo com o protocolo.

1.6 Unidade de temporização

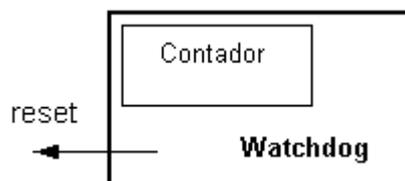
Agora que já temos a unidade de comunicação série implementada, nós podemos receber, enviar e processar dados.



Contudo, para sermos capazes de utilizar isto na indústria precisamos ainda de mais alguns blocos. Um deles é o bloco de temporização que nos interessa bastante porque pode dar-nos informações acerca da hora, duração, protocolo, etc. A unidade básica do temporizador é um contador que é na realidade um registo cujo conteúdo aumenta de uma unidade num intervalo de tempo fixo, assim, anotando o seu valor durante os instantes de tempo T1 e T2 e calculando a sua diferença, nós ficamos a saber a quantidade de tempo decorrida. Esta é uma parte muito importante do microcontrolador, cujo domínio vai requerer muita da nossa atenção.

1.7 Watchdog

Uma outra coisa que nos vai interessar é a fluência da execução do programa pelo microcontrolador durante a sua utilização. Suponha que como resultado de qualquer interferência (que ocorre frequentemente num ambiente industrial), o nosso microcontrolador pára de executar o programa ou, ainda pior, desata a trabalhar incorrectamente.



Claro que, quando isto acontece com um computador, nós simplesmente carregamos no botão de reset e continuamos a trabalhar. Contudo, no caso do microcontrolador nós não podemos resolver o nosso problema deste modo, porque não temos botão. Para ultrapassar este obstáculo, precisamos de introduzir no nosso modelo um novo bloco chamado watchdog (cão de guarda). Este bloco é de facto outro contador que está continuamente a contar e que o nosso programa põe a zero sempre que é executado correctamente. No caso de o programa "encravar", o zero não vai ser escrito e o contador, por si só, encarregar-se-á de fazer o reset do microcontrolador quando alcançar o seu valor máximo. Isto vai fazer com que o programa corra de novo e desta vez correctamente. Este é um elemento importante para que qualquer programa se execute fiavelmente, sem precisar da intervenção do ser humano.

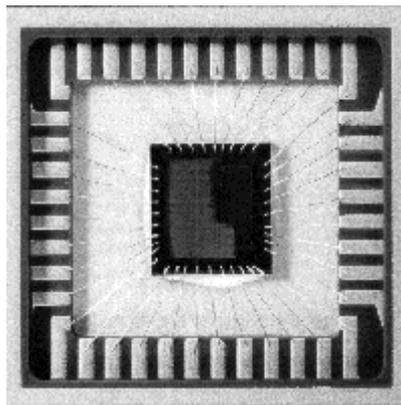
1.8 Conversor analógico - digital

Como os sinais dos periféricos são substancialmente diferentes daqueles que o microcontrolador pode entender (zero e um), eles devem ser convertidos num formato que possa ser compreendido pelo microcontrolador. Esta tarefa é executada por intermédio de um bloco destinado à conversão

analógica-digital ou com um conversor A/D. Este bloco vai ser responsável pela conversão de uma informação de valor analógico para um número binário e pelo seu trajecto através do bloco do CPU, de modo a que este o possa processar de imediato.

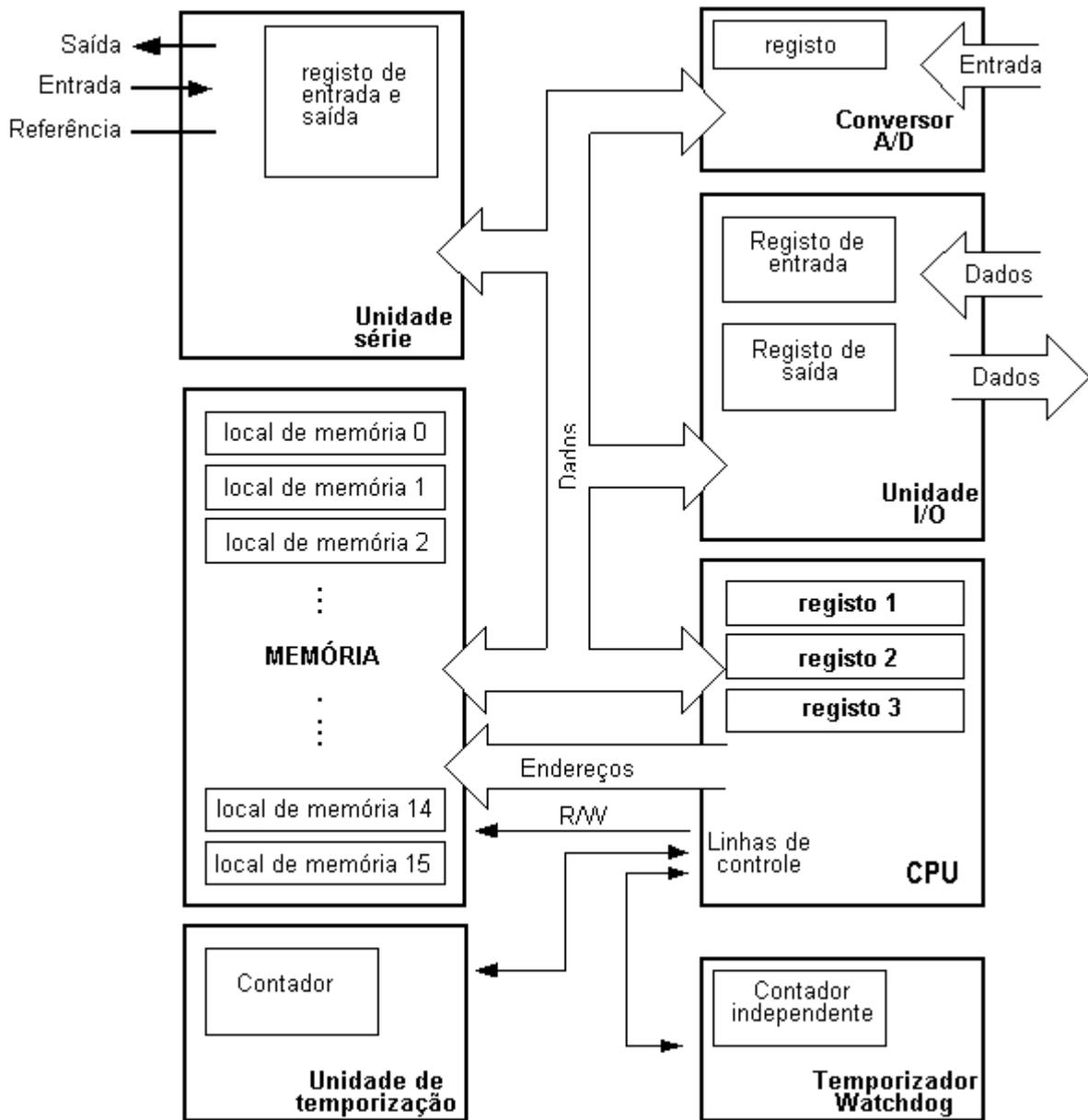


Neste momento, a configuração do microcontrolador está já terminada, tudo o que falta é introduzi-la dentro de um aparelho electrónico que poderá aceder aos blocos internos através dos pinos deste componente. A figura a seguir, ilustra o aspecto interno de um microcontrolador.



Configuração física do interior de um microcontrolador

As linhas mais finas que partem do centro em direcção à periferia do microcontrolador correspondem aos fios que interligam os blocos interiores aos pinos do envólucro do microcontrolador. O gráfico que se segue representa a parte principal de um microcontrolador.



Esquema de um microcontrolador com os seus elementos básicos e ligações internas.

Numa aplicação real, um microcontrolador, por si só, não é suficiente. Além dele, nós necessitamos do programa que vai ser executado e de mais alguns elementos que constituirão um interface lógico para outros elementos (que vamos discutir em capítulos mais à frente).

1.9 Programa

Escrever um programa é uma parte especial do trabalho com microcontroladores e é designado por "programação". Vamos tentar escrever um pequeno programa numa linguagem que seremos nós a criar e que toda a gente será capaz de compreender.

```

INICIO
REGISTO1=LOCAL_DE_MEMORIA_A
REGISTO2=LOCAL_DE_MEMORIA_B
PORTO_A=REGISTO1+REGISTO2
FIM

```

O programa adiciona os conteúdos de dois locais de memória e coloca a soma destes conteúdos no porto A. A primeira linha do programa manda mover o conteúdo do local de memória "A" para um dos registos da unidade central de processamento. Como necessitamos também de outra parcela, vamos colocar o outro conteúdo noutra registo da unidade central de processamento (CPU). A instrução seguinte pede ao CPU para adicionar os conteúdos dos dois registos e enviar o resultado obtido para o porto A, de modo a que o resultado desta adição seja visível para o mundo exterior. Para um problema mais complexo, naturalmente o programa que o resolve será maior.

A tarefa de programação pode ser executada em várias linguagens tais como o Assembler, C e Basic que são as linguagens normalmente mais usadas. O Assembler pertence ao grupo das linguagens de baixo nível que implicam um trabalho de programação lento, mas que oferece os melhores resultados quando se pretende poupar espaço de memória e aumentar a velocidade de execução do programa. Como se trata da linguagem mais frequentemente usada na programação de microcontroladores, ela será discutida num capítulo mais adiantado. Os programas na linguagem C são mais fáceis de se escrever e compreender, mas, também, são mais lentos a serem executados que os programas assembler. Basic é a mais fácil de todas para se aprender e as suas instruções são semelhantes à maneira de um ser humano se exprimir, mas tal como a linguagem C, é também de execução mais lenta que o assembler. Em qualquer caso, antes que escolha entre uma destas linguagens, precisa de examinar cuidadosamente os requisitos de velocidade de execução, de espaço de memória a ocupar e o tempo que vai demorar a fazer o programa em assembly.

Depois de o programa estar escrito, nós necessitamos de introduzir o microcontrolador num dispositivo e pô-lo a trabalhar. Para que isto aconteça, nós precisamos de adicionar mais alguns componentes externos. Primeiro temos que dar vida ao microcontrolador fornecendo-lhe a tensão (a tensão eléctrica é necessária para que qualquer instrumento electrónico funcione) e o oscilador cujo papel é análogo ao do coração que bate no ser humano. A execução das instruções do programa é regulada pelas pulsações do oscilador. Logo que lhe é aplicada a tensão, o microcontrolador executa uma verificação dele próprio, vai para o princípio do programa e começa a executá-lo. O modo como o dispositivo vai trabalhar depende de muitos parâmetros, os mais importantes dos quais são a competência da pessoa que desenvolve o hardware e do programador que, com o seu programa, deve tirar o máximo do dispositivo.

Microcontrolador PIC16F84

Introdução

O **PIC 16F84** pertence a uma classe de microcontroladores de 8 bits, com uma arquitetura RISC. A estrutura genérica é a do mapa que se segue, que nos mostra os seus blocos básicos.

Memória de programa (FLASH) - para armazenar o programa que se escreveu.

Como a memória fabricada com tecnologia FLASH pode ser programada e limpa mais que uma vez, ela torna-se adequada para o desenvolvimento de dispositivos.

EEPROM - memória dos dados que necessitam de ser salvaguardados quando a alimentação é desligada. Normalmente é usada para guardar dados importantes que não se podem perder quando a alimentação, de repente, “vai abaixo”. Um exemplo deste tipo de dados é a temperatura fixada para os reguladores de temperatura. Se, durante uma quebra de alimentação, se perdessem dados, nós precisaríamos de proceder a um novo ajustamento quando a alimentação fosse restabelecida. Assim, o nosso dispositivo, perderia eficácia.

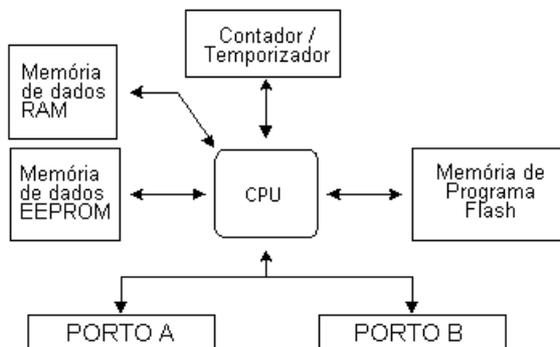
RAM - memória de dados usada por um programa, durante a sua execução.

Na RAM, são guardados todos os resultados intermédios ou dados temporários durante a execução do programa e que não são cruciais para o dispositivo, depois de ocorrer uma falha na alimentação.

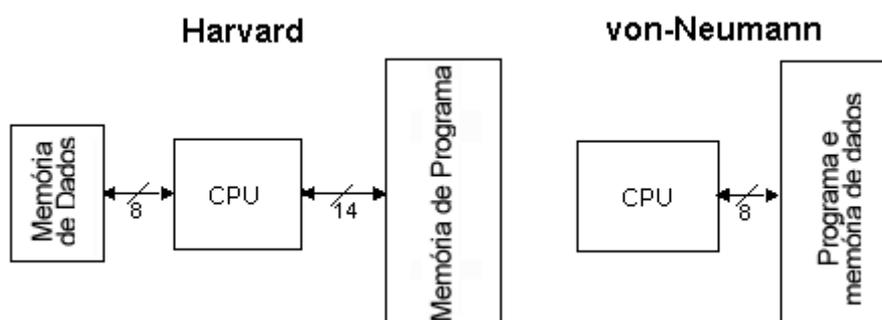
PORTO A e PORTO B são ligações físicas entre o microcontrolador e o mundo exterior. O porto A tem cinco pinos e o porto B oito pinos.

CONTADOR/TEMPORIZADOR é um registro de 8 bits no interior do microcontrolador que trabalha independentemente do programa. No fim de cada conjunto de quatro ciclos de relógio do oscilador, ele incrementa o valor armazenado, até atingir o valor máximo (255), nesta altura recomeça a contagem a partir de zero. Como nós sabemos o tempo exato entre dois incrementos sucessivos do conteúdo do temporizador, podemos utilizar este para medir intervalos de tempo, o que o torna muito útil em vários dispositivos.

UNIDADE DE PROCESSAMENTO CENTRAL faz a conexão com todos os outros blocos do microcontrolador. Ele coordena o trabalho dos outros blocos e executa o programa do utilizador.



Esquema do microcontrolador PIC16F84



Arquiteturas Harvard versus von Neumann

CISC, RISC

Já foi dito que o PIC16F84 tem uma arquitetura RISC. Este termo é encontrado, muitas vezes, na literatura sobre computadores e necessita de ser explicada aqui, mais detalhadamente. A arquitetura de Harvard é um conceito mais recente que a de von-Neumann. Ela adveio da necessidade de pôr o microcontrolador a trabalhar mais rapidamente. Na arquitetura de Harvard, a memória de dados está separada da memória de programa. Assim, é possível uma maior fluência de dados através da unidade central de processamento e, claro, uma maior velocidade de funcionamento. A separação da memória de dados da memória de programa, faz com que as instruções possam ser representadas por palavras de mais que 8 bits. O PIC16F84, usa 14 bits para cada instrução, o que permite que todas as instruções ocupem uma só palavra de instrução. É também típico da arquitetura Harvard ter um repertório com menos instruções que a de von-Neumann's, instruções essas, geralmente executadas apenas num único ciclo de relógio.

Os microcontroladores com a arquitetura Harvard, são também designados por "microcontroladores RISC". RISC provém de Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções (Reduced Instruction Set Computer). Os microcontroladores com uma arquitetura von-Neumann são designados por 'microcontroladores CISC'. O nome CISC deriva de Computador com um Conjunto Complexo de Instruções (Complex Instruction Set Computer).

Como o PIC16F84 é um microcontrolador RISC, disso resulta que possui um número reduzido de instruções, mais precisamente 35 (por exemplo, os microcontroladores da Intel e da Motorola têm mais de cem instruções). Todas estas instruções são executadas num único ciclo, exceto no caso de instruções de salto e de ramificação. De acordo com o que o seu fabricante refere, o PIC16F84 geralmente atinge resultados de 2 para 1 na compressão de código e 4 para 1 na velocidade, em relação aos outros microcontroladores de 8 bits da sua classe.

Aplicações

O PIC16F84, é perfeitamente adequado para muitas variedades de aplicações, como a indústria automóvel, sensores remotos, fechaduras elétricas e dispositivos de segurança. É também um dispositivo ideal para cartões inteligentes, bem como para dispositivos alimentados por baterias, por causa do seu baixo consumo.

A memória EEPROM, faz com que se torne mais fácil usar microcontroladores em dispositivos onde o armazenamento permanente de vários parâmetros, seja necessário (códigos para transmissores, velocidade de um motor, frequências de recepção, etc.). O baixo custo, baixo consumo, facilidade de manuseamento e flexibilidade fazem com que o PIC16F84 se possa utilizar em áreas em que os microcontroladores não eram anteriormente empregues (exemplo: funções de temporização, substituição de interfaces em sistemas de grande porte, aplicações de coprocessamento, etc.).

A possibilidade deste chip de ser programável no sistema (usando somente dois pinos para a transferência de dados), dão flexibilidade do produto, mesmo depois de a sua montagem e teste estarem completos.

Esta capacidade, pode ser usada para criar linhas de produção e montagem, para armazenar dados de calibragem disponíveis apenas quando se proceder ao teste final ou, ainda, para aperfeiçoar os programas presentes em produtos acabados.

Relógio / ciclo de instrução

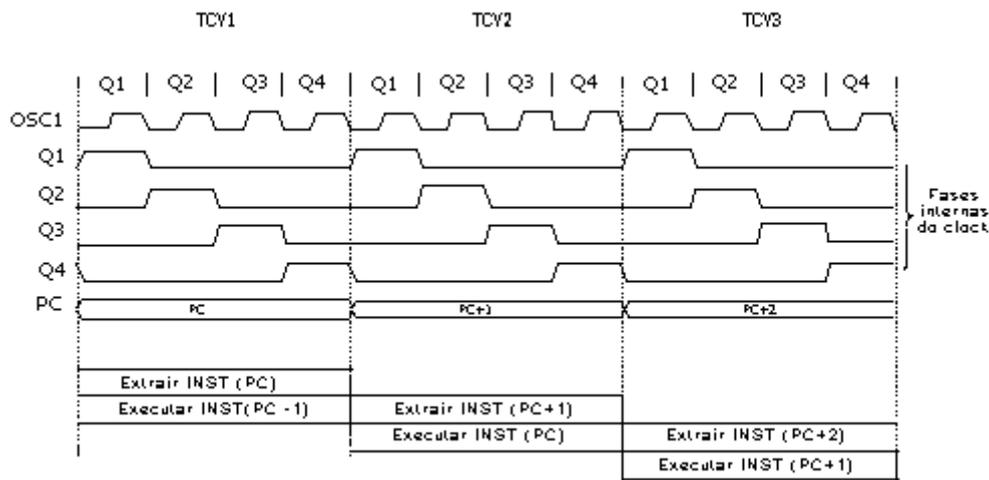
O relógio (clock), é quem dá o sinal de partida para o microcontrolador e é obtido a partir de um componente externo chamado "oscilador". Se considerasse-mos que um microcontrolador era um relógio de sala, o nosso clock corresponderia ao pêndulo e emitiria um ruído correspondente ao deslocar do pêndulo. Também, a força usada para dar corda ao relógio, podia comparar-se à alimentação elétrica.

O clock do oscilador, é ligado ao microcontrolador através do pino OSC1, aqui, o circuito interno do microcontrolador divide o sinal de clock em quatro fases, Q1, Q2, Q3 e Q4 que não se sobrepõem. Estas quatro pulsações perfazem um ciclo de instrução (também chamado ciclo de máquina) e durante o qual uma instrução é executada.

A execução de uma instrução, é antecedida pela extração da instrução que está na linha seguinte. O código da instrução é extraído da memória de programa em Q1 e é escrito no registro de instrução em Q4.

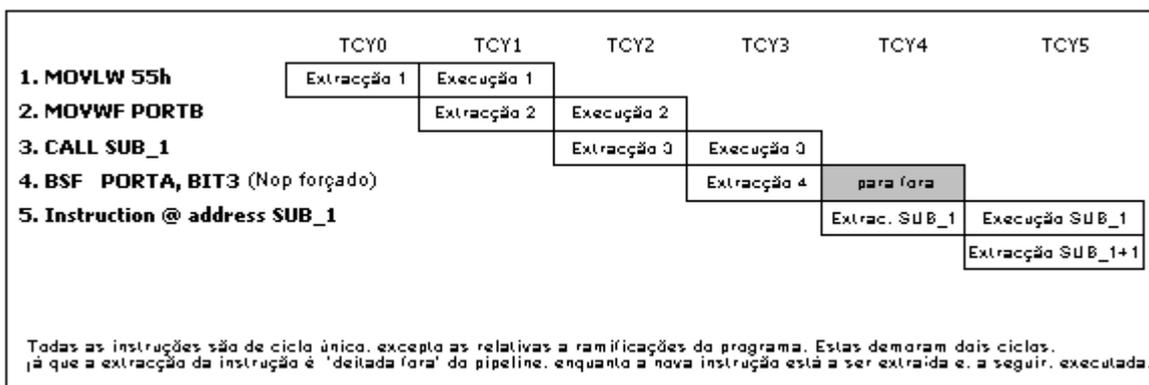
A decodificação e execução dessa mesma instrução, faz-se entre as fases Q1 e Q4 seguintes. No diagrama em baixo, podemos observar a relação entre o ciclo de instrução e o clock do oscilador (OSC1) assim como as fases Q1-Q4.

O contador de programa (Program Counter ou PC) guarda o endereço da próxima instrução a ser executada.



Pipelining

Cada ciclo de instrução inclui as fases Q1, Q2, Q3 e Q4. A extração do código de uma instrução da memória de programa, é feita num ciclo de instrução, enquanto que a sua descodificação e execução, são feitos no ciclo de instrução seguinte. Contudo, devido à sobreposição – pipelining (o microcontrolador ao mesmo tempo que executa uma instrução extrai simultaneamente da memória o código da instrução seguinte), podemos considerar que, para efeitos práticos, cada instrução demora um ciclo de instrução a ser executada. No entanto, se a instrução provocar uma mudança no conteúdo do contador de programa (PC), ou seja, se o PC não tiver que apontar para o endereço seguinte na memória de programa, mas sim para outro (como no caso de saltos ou de chamadas de sub-rotinas), então deverá considerar-se que a execução desta instrução demora dois ciclos. Isto acontece, porque a instrução vai ter que ser processada de novo, mas, desta vez, a partir do endereço correto. O ciclo de chamada começa na fase Q1, escrevendo a instrução no registro de instrução (Instruction Register – IR). A descodificação e execução continua nas fases Q2, Q3 e Q4 do clock.



Fluxograma das Instruções no Pipeline

TCY0 é lido da memória o código da instrução MOVLW 55h (não nos interessa a instrução que foi executada, por isso não está representada por retângulo).

TCY1 é executada a instrução MOVLW 55h e é lida da memória a instrução MOVWF PORTB.

TCY2 é executada a instrução MOVWF PORTB e lida a instrução CALL SUB_1.

TCY3 é executada a chamada (call) de um subprograma CALL SUB_1 e é lida a instrução BSF PORTA,BIT3. Como esta instrução não é a que nos interessa, ou seja, não é a primeira instrução do subprograma SUB_1, cuja execução é o que vem a seguir, a leitura de uma instrução tem que ser feita de novo. Este é um bom exemplo de uma instrução a precisar de mais que um ciclo.

TCY4 este ciclo de instrução é totalmente usado para ler a primeira instrução do subprograma no endereço SUB_1.

TCY5 é executada a primeira instrução do subprograma SUB_1 e lida a instrução seguinte.

Significado dos pinos

O PIC16F84 tem um total de 18 pinos. É mais frequentemente encontrado num tipo de encapsulamento DIP18, mas, também pode ser encontrado numa cápsula SMD de menores dimensões que a DIP. DIP é uma abreviatura para Dual In Package (Empacotamento em duas linhas). SMD é uma abreviatura para Surface Mount Devices (Dispositivos de Montagem em Superfície), o que sugere que os pinos não precisam de passar pelos orifícios da placa em que são inseridos, quando se solda este tipo de componente.



Os pinos no microcontrolador PIC16F84, têm o seguinte significado:

- Pino nº 1, **RA2** Segundo pino do porto A. Não tem nenhuma função adicional.
- Pino nº 2, **RA3** Terceiro pino do porto A. Não tem nenhuma função adicional.
- Pino nº 3, **RA4** Quarto pino do porto A. O TOCK1 que funciona como entrada do temporizador, também utiliza este pino.
- Pino nº 4, **MCLR** Entrada de reset e entrada da tensão de programação Vpp do microcontrolador .
- Pino nº 5, **Vss** massa da alimentação.
- Pino nº 6, **RB0**, bit 0 do porto B. Tem uma função adicional que é a de entrada de interrupção.
- Pino nº 7, **RB1** bit 1 do porto B. Não tem nenhuma função adicional.
- Pino nº 8, **RB2** bit 2 do porto B. Não tem nenhuma função adicional.
- Pino nº 9, **RB3** bit 3 do porto B. Não tem nenhuma função adicional.
- Pino nº 10, **RB4** bit 4 do porto B. Não tem nenhuma função adicional.
- Pino nº 11, **RB5** bit 5 do porto B. Não tem nenhuma função adicional.
- Pino nº 12, **RB6** bit 6 do porto B. No modo de programa é a linha de clock
- Pino nº 13, **RB7** bit 7 do porto B. Linha de dados no modo de programa
- Pino nº 14, **Vdd** Pólo positivo da tensão de alimentação.
- Pino nº 15, **OSC2** para ser ligado a um oscilador.
- Pino nº 16, **OSC1** para ser ligado a um oscilador.
- Pino nº 17, **RA0** bit 0 do porto A. Sem função adicional.
- Pino nº 18, **RA1** bit 1 do porto A. Sem função adicional.

2.1 Gerador de relógio – oscilador

O circuito do oscilador é usado para fornecer um relógio (clock), ao microcontrolador. O clock é necessário para que o microcontrolador possa executar um programa ou as instruções de um programa.

Tipos de osciladores

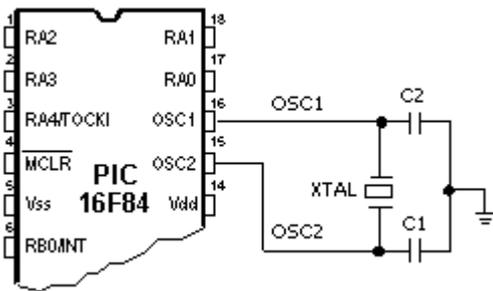
O PIC16F84 pode trabalhar com quatro configurações de oscilador. Uma vez que as configurações com um oscilador de cristal e resistência-condensador (RC) são aquelas mais frequentemente usadas, elas são as únicas que vamos mencionar aqui.

Quando o oscilador é de cristal, a designação da configuração é de XT, se o oscilador for uma resistência em série com um condensador, tem a designação RC. Isto é importante, porque há necessidade de optar entre os diversos tipos de oscilador, quando se escolhe um microcontrolador.

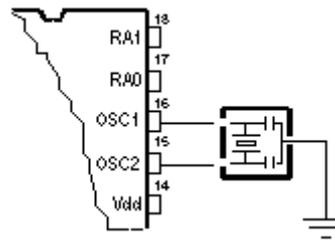
Oscilador XT

O oscilador de cristal está contido num invólucro de metal com dois pinos onde foi escrita a frequência a que o cristal oscila. Dois condensadores cerâmicos devem ligar cada um dos pinos do cristal à massa. Casos há em que cristal e

condensadores estão contidos no mesmo encapsulamento, é também o caso do ressonador cerâmico ao lado representado. Este elemento tem três pinos com o pino central ligado à massa e os outros dois pinos ligados aos pinos OSC1 e OSC2 do microcontrolador. Quando projetamos um dispositivo, a regra é colocar o oscilador tão perto quanto possível do microcontrolador, de modo a evitar qualquer interferência nas linhas que ligam o oscilador ao microcontrolador.



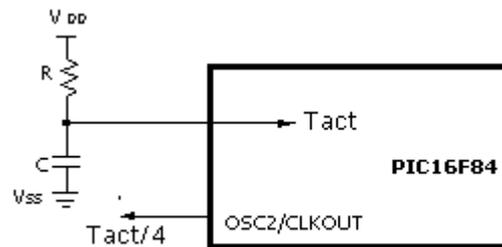
Clock de um microcontrolador a partir de um cristal de quartzo



Clock de um microcontrolador com um ressonador cerâmico

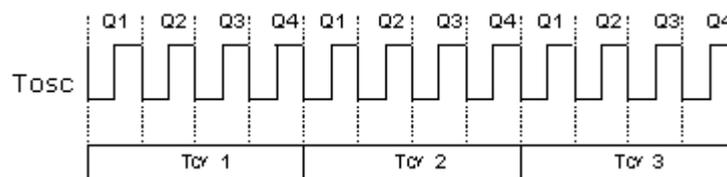
OSCILADOR RC

Em aplicações em que a precisão da temporização não é um fator crítico, o oscilador RC torna-se mais econômico. A frequência de ressonância do oscilador RC depende da tensão de alimentação, da resistência R, capacidade C e da temperatura de funcionamento.



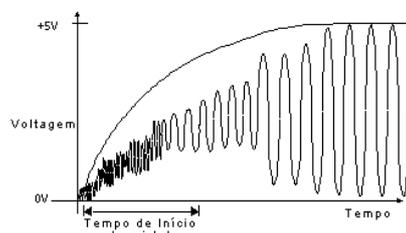
*Nota: este pino pode ser configurado como de entrada ou de saída

O diagrama acima, mostra como um oscilador RC deve ser ligado a um PIC16F84. Com um valor para a resistência R abaixo de 2,2 K, o oscilador pode tornar-se instável ou pode mesmo parar de oscilar. Para um valor muito grande R (1M por exemplo), o oscilador torna-se muito sensível à unidade e ao ruído. É recomendado que o valor da resistência R esteja compreendido entre 3K e 100K. Apesar de o oscilador poder trabalhar sem condensador externo (C = 0 pF), é conveniente, ainda assim, usar um condensador acima de 20 pF para evitar o ruído e aumentar a estabilidade. Qualquer que seja o oscilador que se está a utilizar, a frequência de trabalho do microcontrolador é a do oscilador dividida por 4. A frequência de oscilação dividida por 4 também é fornecida no pino OSC2/CLKOUT e, pode ser usada, para testar ou sincronizar outros circuitos lógicos pertencentes ao sistema.



Relação entre o sinal de clock e os ciclos de instrução

Ao ligar a alimentação do circuito, o oscilador começa a oscilar. Primeiro com um período de oscilação e uma amplitude instáveis, mas, depois de algum tempo, tudo estabiliza.



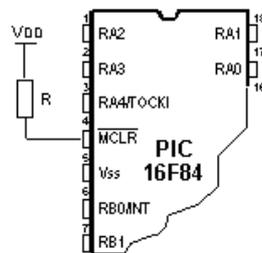
Sinal de clock do oscilador do microcontrolador depois de ser ligada a alimentação

Para evitar que esta instabilidade inicial do clock afete o funcionamento do microcontrolador, nós necessitamos de manter o microcontrolador no estado de reset enquanto o clock do oscilador não estabiliza. O diagrama em cima, mostra uma forma típica do sinal fornecido por um oscilador de cristal de quartzo ao microcontrolador quando se liga a alimentação.

2.2 Reset

O reset é usado para pôr o microcontrolador num estado conhecido. Na prática isto significa que às vezes o microcontrolador pode comportar-se de um modo inadequado em determinadas condições indesejáveis. De modo a que o seu funcionamento normal seja restabelecido, é preciso fazer o reset do microcontrolador, isto significa que todos os seus registos vão conter valores iniciais pré-definidos, correspondentes a uma posição inicial. O reset não é usado somente quando o microcontrolador não se comporta da maneira que nós queremos, mas, também pode ser usado, quando ocorre uma interrupção por parte de outro dispositivo, ou quando se quer que o microcontrolador esteja pronto para executar um programa .

De modo a prevenir a ocorrência de um zero lógico acidental no pino MCLR (a linha por cima de MCLR significa o sinal de reset é ativado por nível lógico baixo), o pino MCLR tem que ser ligado através de uma resistência ao lado positivo da alimentação. Esta resistência deve ter um valor entre 5 e 10K. Uma resistência como esta, cuja função é conservar uma determinada linha a nível lógico alto, é chamada “resistência de pull up”.



Utilização do circuito interno de reset

O microcontrolador PIC16F84, admite várias formas de reset:

- Reset quando se liga a alimentação, POR (Power-On Reset)
- Reset durante o funcionamento normal, quando se põe a nível lógico baixo o pino MCLR do microcontrolador.
- Reset durante o regime de SLEEP (dormir).
- Reset quando o temporizador do watchdog (WDT) transborda (passa para 0 depois de atingir o valor máximo).
- Reset quando o temporizador do watchdog (WDT) transborda estando no regime de SLEEP.

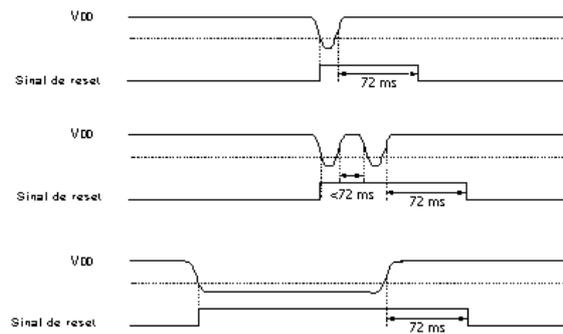
Os reset mais importantes são o a) e o b). O primeiro, ocorre sempre que é ligada a alimentação do microcontrolador e serve para trazer todos os registos para um estado inicial. O segundo que resulta da aplicação de um valor lógico baixo ao pino MCLR durante o funcionamento normal do microcontrolador e, é usado muitas vezes, durante o desenvolvimento de um programa.

Durante um reset, os locais de memória da RAM (registros) não são alterados. Ou seja, os conteúdos destes registos, são desconhecidos durante o restabelecimento da alimentação, mas mantêm-se inalterados durante qualquer outro reset. Ao contrário dos registos normais, os SFR (registros com funções especiais) são reiniciados com um valor inicial pré-definido. Um dos mais importantes efeitos de um reset, é introduzir no contador de programa (PC), o valor zero (0000), o que faz com que o programa comece a ser executado a partir da primeira instrução deste.

Reset quando o valor da alimentação desce abaixo do limite permitido (Brown-out Reset).

O impulso que provoca o reset durante o estabelecimento da alimentação (power-up), é gerado pelo próprio microcontrolador quando detecta um aumento na tensão Vdd (numa faixa entre 1,2V e 1,8V). Esse impulso perdura durante 72ms, o que, em princípio, é tempo suficiente para que o oscilador estabilize. Esse intervalo de tempo de 72ms é definido por um temporizador interno PWRT, com um oscilador RC próprio. Enquanto PWRT estiver ativo, o microcontrolador mantém-se no estado de reset. Contudo, quando o dispositivo está a trabalhar, pode surgir um problema não resultante de uma queda da tensão para 0 volts, mas sim de uma queda de tensão para um valor abaixo do limite que garante o correto funcionamento do microcontrolador. Trata-se de um fato muito provável de ocorrer na prática, especialmente em ambientes

industriais onde as perturbações e instabilidade da alimentação ocorrem frequentemente. Para resolver este problema, nós precisamos de estar certos de que o microcontrolador entra no estado de reset de cada vez que a alimentação desce abaixo do limite aprovado.

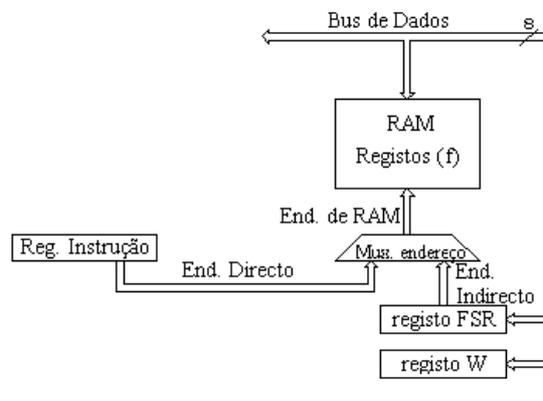


Exemplos de quedas na alimentação abaixo do limite

Se, de acordo com as especificações elétricas, o circuito interno de reset de um microcontrolador não satisfizer as necessidades, então, deverão ser usados componentes eletrônicos especiais, capazes de gerarem o sinal de reset desejado. Além desta função, estes componentes, podem também cumprir o papel de vigiarem as quedas de tensão para um valor abaixo de um nível especificado. Quando isto ocorre, aparece um zero lógico no pino MCLR, que mantém o microcontrolador no estado de reset, enquanto a voltagem não estiver dentro dos limites que garantem um correto funcionamento.

2.3 Unidade Central de Processamento

A unidade central de processamento (CPU) é o cérebro de um microcontrolador. Essa parte é responsável por extrair a instrução, decodificar essa instrução e, finalmente, executá-la.

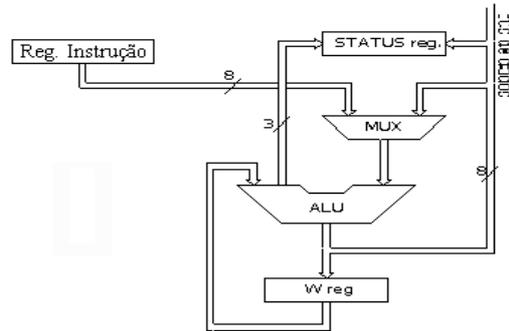


Esquema da unidade central de processamento - CPU

A unidade central de processamento, interliga todas as partes do microcontrolador de modo a que este se comporte como um todo. Uma das suas funções mais importantes é, seguramente, decodificar as instruções do programa. Quando o programador escreve um programa, as instruções assumem um claro significado como é o caso por exemplo de MOVLW 0x20. Contudo, para que um microcontrolador possa entendê-las, esta forma escrita de uma instrução tem que ser traduzida numa série de zeros e uns que é o 'opcode' (operation code ou código da operação). Esta passagem de uma palavra escrita para a forma binária é executada por tradutores assembler (ou simplesmente assembler). O código da instrução extraído da memória de programa, tem que ser decodificado pela unidade central de processamento (CPU). A cada uma das instruções do repertório do microcontrolador, corresponde um conjunto de ações para a concretizar. Estas ações, podem envolver transferências de dados de um local de memória para outro, de um local de memória para os portos, e diversos cálculos, pelo que, se conclui que, o CPU, tem que estar ligado a todas as partes do microcontrolador. Os bus de dados e o de endereço permitem-nos fazer isso.

Unidade Lógica Aritmética (ALU)

A unidade lógica aritmética (ALU – Arithmetic Logic Unit), é responsável pela execução de operações de adição, subtração, deslocamento (para a esquerda ou para a direita dentro de um registro) e operações lógicas. O PIC16F84 contém uma unidade lógica aritmética de 8 bits e registros de uso genérico também de 8 bits.



Unidade lógica-aritmética e como funciona

Por operando nós designamos o conteúdo sobre o qual uma operação incide. Nas instruções com dois operandos, geralmente um operando está contido no registro de trabalho W (working register) e o outro operando ou é uma constante ou então está contido num dos outros registros. Esses registros podem ser “Registros de Uso Genérico” (General Purpose Registers – GPR) ou “Registros com funções especiais” (Special Function Registers – SFR). Nas instruções só com um operando, um dos operandos é o conteúdo do registro W ou o conteúdo de um dos outros registros. Quando são executadas operações lógicas ou aritméticas como é o caso da adição, a ALU controla o estado dos bits do Carry (C), Carry de dígito (DC) e Z (zero) no registro de estado - STATUS. Dependendo da instrução a ser executada, a ALU, pode modificar os valores bits do Carry (C), Carry de dígito (DC) e Z (zero) no registro de estado - STATUS.

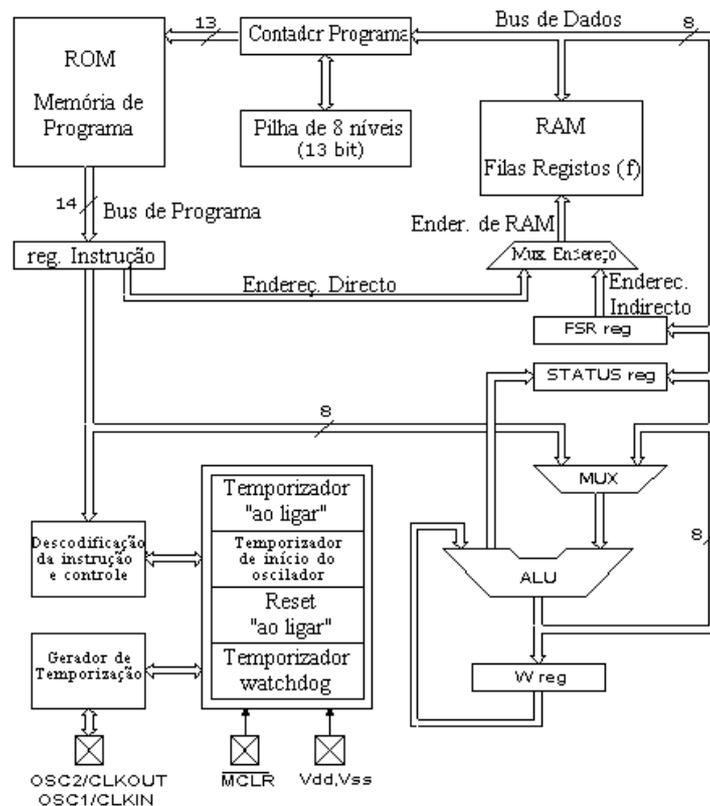


Diagrama bloco mais detalhado do microcontrolador PIC16F84

Registro STATUS

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-1	R-1	R/W-x	R/W-x	R/W-x	
IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	
bit 7								bit 0
Legenda: R = bit p/ ler W = bit p/escrever U = bit por implementar, ler como '0' -n = valor p/ reset 'ao ligar'								

bit 0 C (Carry) Transporte

Este bit é afetado pelas operações de adição, subtração e deslocamento. Toma o valor '1' (set), quando um valor mais pequeno é subtraído de um valor maior e toma o valor '0' (reset) quando um valor maior é subtraído de um menor.

1= Ocorreu um transporte no bit mais significativo

0= Não ocorreu transporte no bit mais significativo

O bit C é afetado pelas instruções ADDWF, ADDLW, SUBLW e SUBWF.

bit 1 DC (Digit Carry) Transporte de dígito

Este bit é afetado pelas operações de adição, subtração. Ao contrário do anterior, DC assinala um transporte do bit 3 para o bit 4 do resultado. Este bit toma o valor '1', quando um valor mais pequeno é subtraído de um valor maior e toma o valor '0' quando um valor maior é subtraído de um menor.

1= Ocorreu um transporte no quarto bit mais significativo

0= Não ocorreu transporte nesse bit

O bit DC é afetado pelas instruções ADDWF, ADDLW, SUBLW e SUBWF.

bit 2 Z (bit Zero) Indicação de resultado igual a zero.

Este bit toma o valor '1' quando o resultado da operação lógica ou aritmética executada é igual a 0.

1= resultado igual a zero

0= resultado diferente de zero

bit 3 PD (Bit de baixa de tensão – Power Down)

Este bit é posto a '1' quando o microcontrolador é alimentado e começa a trabalhar, depois de um reset normal e depois da execução da instrução CLRWDT. A instrução SLEEP põe este bit a '0' ou seja, quando o microcontrolador entra no regime de baixo consumo / pouco trabalho. Este bit pode também ser posto a '1', no caso de ocorrer um impulso no pino RB0/INT, uma variação nos quatro bits mais significativos do porto B, ou quando é completada uma operação de escrita na DATA EEPROM ou ainda pelo watchdog.

1 = depois de ter sido ligada a alimentação

0 = depois da execução de uma instrução SLEEP

bit 4 TO Time-out ; transbordo do Watchdog

Este bit é posto a '1', depois de a alimentação ser ligada e depois da execução das instruções CLRWDT e SLEEP. O bit é posto a '0' quando o watchdog consegue chegar ao fim da sua contagem (overflow = transbordar), o que indica que qualquer coisa não esteve bem.

1 = não ocorreu transbordo

0 = ocorreu transbordo

bits 5 e 6 RP1:RP0 (bits de seleção de banco de registros)

Estes dois bits são a parte mais significativa do endereço utilizado para endereçamento direto. Como as instruções que endereçam diretamente a memória, dispõem somente de sete bits para este efeito, é preciso mais um bit para poder endereçar todos os 256 registros do PIC16F84. No caso do PIC16F84, RP1, não é usado, mas pode ser necessário no caso de outros microcontroladores PIC, de maior capacidade.

01 = banco de registros 1

00 = banco de registros 0

bit 7 IRP (Bit de seleção de banco de registros)

Este bit é utilizado no endereçamento indireto da RAM interna, como oitavo bit

1 = bancos 2 e 3

0 = bancos 0 e 1 (endereços de 00h a FFh)

O registo de estado (STATUS), contém o estado da ALU (C, DC, Z), estado de RESET (TO, PD) e os bits para seleção do banco de memória (IRP, RP1, RP0). Considerando que a seleção do banco de memória é controlada através deste registo, ele tem que estar presente em todos os bancos. Os bancos de memória serão discutidos com mais detalhe no capítulo que

trata da Organização da Memória. Se o registro STATUS for o registro de destino para instruções que afetem os bits Z, DC ou C, então não é possível escrever nestes três bits.

Registro OPTION

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
RBPU (1)	INTEG	TOCS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
bit 7							bit 0

Legenda:

R = bit p/ ler W = bit p/ escrever
 U = não implementado, ler como '0' -n = valor p/ reset 'ao ligar'

bits 0 a 2 PS0, PS1, PS2 (bits de seleção do divisor Prescaler)

Estes três bits definem o fator de divisão do prescaler. Aquilo que é o prescaler e o modo como o valor destes três bits afetam o funcionamento do microcontrolador será estudado na secção referente a TMR0.

Bits	TMR0	WDT
000	1 : 2	1 : 1
001	1 : 4	1 : 2
010	1 : 8	1 : 4
011	1 : 16	1 : 8
100	1 : 32	1 : 16
101	1 : 64	1 : 32
110	1 : 128	1 : 64
111	1 : 256	1 : 128

bit 3 PSA (Bit de Atribuição do Prescaler)

Bit que atribui o prescaler ao TMR0 ou ao watchdog.

1 = prescaler atribuído ao watchdog

0 = prescaler atribuído ao temporizador TMR0

bit 4 T0SE (bit de seleção de bordo ativo em TMR0)

Se for permitido aplicar impulsos em TMR0, a partir do pino RA4/TOCK1, este bit determina se os impulsos ativos são os impulsos ascendentes ou os impulsos descendentes.

1 = bordo descendente

0 = bordo ascendente

bit 5 TOCS (bit de seleção de fonte de clock em TMR0)

Este pino escolhe a fonte de impulsos que vai ligar ao temporizador. Esta fonte pode ser o clock do microcontrolador (frequência de clock a dividir por 4) ou impulsos externos no pino RA4/TOCK1.

1 = impulsos externos

0 = ¼ do clock interno

bit 6 INDEG (bit de seleção de bordo de interrupção)

Se esta interrupção estiver habilitada, é possível definir o bordo que vai activar a interrupção no pino RB0/INT.

1 = bordo ascendente

0 = bordo descendente

bit 7 RBPU (Habilitação dos pull-up nos bits do porto B)

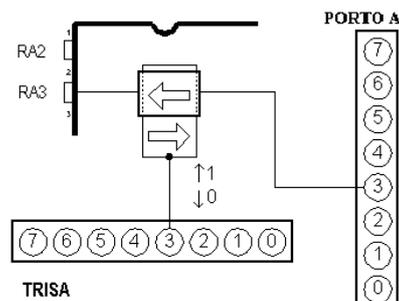
Este bit introduz ou retira as resistências internas de pull-up do porto B.

1 = resistências de "pull-up" desligadas

0 = resistências de "pull-up" ligadas

2.4 Portos

Porto, é um grupo de pinos num microcontrolador que podem ser acedidos simultaneamente, e, no qual nós podemos colocar uma combinação de zeros e uns ou ler dele o estado existente. Fisicamente, porto é um registro dentro de um microcontrolador que está ligado por fios aos pinos do microcontrolador. Os portos representam a conexão física da Unidade Central de Processamento (CPU) com o mundo exterior. O microcontrolador usa-os para observar ou comandar outros componentes ou dispositivos. Para aumentar a sua funcionalidade, os mesmos pinos podem ter duas aplicações distintas, como, por exemplo, RA4/TOCKI, que é simultaneamente o bit 4 do porto A e uma entrada externa para o contador/temporizador TMR0. A escolha de uma destas duas funções é feita através dos registos de configuração. Um exemplo disto é o TOCS, quinto bit do registro OPTION. Ao seleccionar uma das funções, a outra é automaticamente inibida.



Relação entre os registos TRISA e PORTO A

Todos os pinos dos portos podem ser definidos como de entrada ou de saída, de acordo com as necessidades do dispositivo que se está a projectar. Para definir um pino como entrada ou como saída, é preciso, em primeiro lugar, escrever no registro TRIS, a combinação apropriada de zeros e uns. Se no local apropriado de um registro TRIS for escrito o valor lógico “1”, então o correspondente pino do porto é definido como entrada, se suceder o contrário, o pino é definido como saída. Todos os portos, têm um registro TRIS associado. Assim, para o porto A, existe o registro TRISA no endereço 85h e, para o porto B existe o registro TRISB, no endereço 86h.

PORTO B

O porto B tem 8 pinos associados a ele. O respectivo registro de direção de dados chama-se TRISB e tem o endereço 86h. Ao pôr a ‘1’ um bit do registro TRISB, define-se o correspondente pino do porto como entrada e se pusermos a ‘0’ um bit do registro TRISB, o pino correspondente vai ser uma saída. Cada pino do PORTO B possui uma pequena resistência de ‘pull-up’ (resistência que define a linha como tendo o valor lógico ‘1’). As resistências de pull-up são ativadas pondo a ‘0’ o bit RBPU, que é o bit 7 do registro OPTION. Estas resistências de ‘pull-up’ são automaticamente desligadas quando os pinos do porto são configurados como saídas. Quando a alimentação do microcontrolador é ligada, as resistências de pull-up são também desativadas.

Quatro pinos do PORTO B, RB4 a RB7 podem causar uma interrupção, que ocorre quando qualquer deles varia do valor lógico zero para valor lógico um ou o contrário. Esta forma de interrupção só pode ocorrer se estes pinos forem configurados como entradas (se qualquer um destes 4 pinos for configurado como saída, não será gerada uma interrupção quando há variação de estado). Esta modalidade de interrupção, acompanhada da existência de resistências de pull-up internas, torna possível resolver mais facilmente problemas frequentes que podemos encontrar na prática, como por exemplo a ligação de um teclado matricial. Se as linhas de um teclado ficarem ligadas a estes pinos, sempre que se prime uma tecla, ir-se-á provocar uma interrupção. Ao processar a interrupção, o microcontrolador terá que identificar a tecla que a produziu. Não é recomendável utilizar o porto B, ao mesmo tempo que esta interrupção está a ser processada.

```
clrf STATUS      ;Banco 0
clrf PORTB       ;Porto B = 0
bsf STATUS, RPO  ;Banco 1
movlw 0x0F       ;Definir pinos de entrada e saída
movwf TRISB      ;Escrever no registo TRISB
```

O exemplo de cima mostra como os pinos 0, 1, 2 e 3 são definidos como entradas e 4, 5, 6 e 7 como saídas.

PORTO A

O porto A (PORTA) está associado a 5 pinos. O registro de direção de dados correspondente é o TRISA, no endereço 85h. Tal como no caso do porto B, pôr a ‘1’ um bit do registro TRISA, equivale a definir o correspondente pino do porto A, como entrada e pôr a ‘0’ um bit do mesmo registro, equivale a definir o correspondente pino do porto A, como saída.

O quinto pino do porto A tem uma função dupla. Nesse pino está também situada a entrada externa do temporizador TMR0. Cada uma destas opções é escolhida pondo a '1' ou pondo a '0' o bit TOCS (bit de seleção de fonte de clock de TMR0). Conforme o valor deste bit, assim o temporizador TMR0 incrementa o seu valor por causa de um impulso do oscilador interno ou devido a um impulso externo aplicado ao pino RA4/TOCKI.

```
bcf STATUS, RPO ;Banco 0
clrf PORTA ;Porto A = 0
bsf STATUS, RPO ;Banco 1
movlw 0x1F ;Definir pinos de entrada e de saída
movwf TRISA ;Escrever no registo TRISA
```

Este exemplo mostra como os pinos 0, 1, 2, 3 e 4 são declarados como entradas e os pinos 5, 6 e 7 como pinos de saída.

2.5 Organização da memória

O PIC16F84 tem dois blocos de memória separados, um para dados e o outro para o programa. A memória EEPROM e os registos de uso genérico (GPR) na memória RAM constituem o bloco para dados e a memória FLASH constitui o bloco de programa.

Memória de programa

A memória de programa é implementada usando tecnologia FLASH, o que torna possível programar o microcontrolador muitas vezes antes de este ser instalado num dispositivo, e, mesmo depois da sua instalação, podemos alterar o programa e parâmetros contidos. O tamanho da memória de programa é de 1024 endereços de palavras de 14 bits, destes, os endereços zero e quatro estão reservados respectivamente para o reset e para o vetor de interrupção.

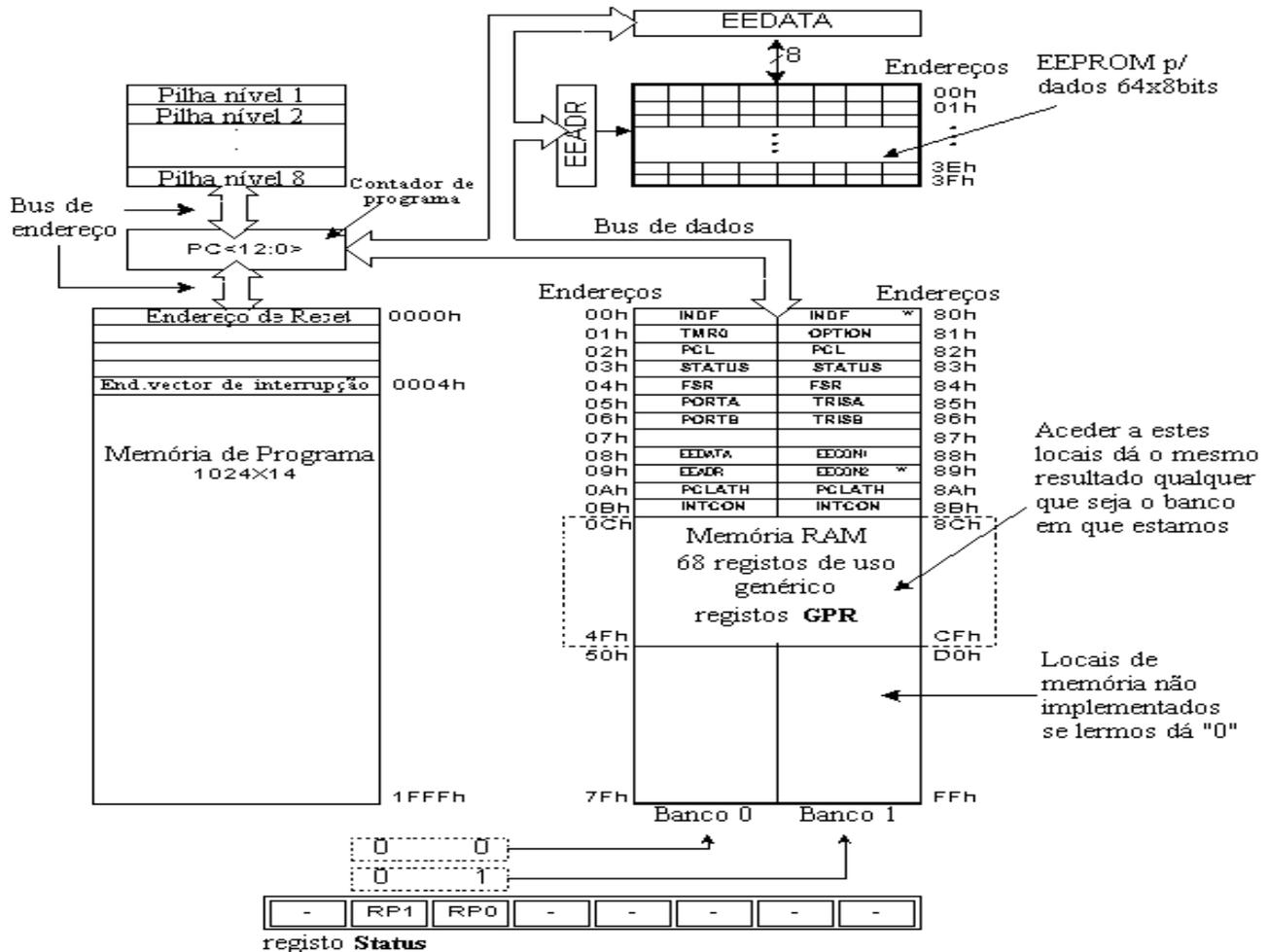
Memória de dados

A memória de dados compreende memória EEPROM e memória RAM. A memória EEPROM consiste em 64 posições para palavras de oito bits e cujos conteúdos não se perdem durante uma falha na alimentação. A memória EEPROM não faz parte diretamente do espaço de memória mas é acedida indiretamente através dos registos EEADR e EEDATA. Como a memória EEPROM serve usualmente para guardar parâmetros importantes (por exemplo, de uma dada temperatura em reguladores de temperatura), existe um procedimento estrito para escrever na EEPROM que tem que ser seguido de modo a evitar uma escrita acidental. A memória RAM para dados, ocupa um espaço no mapa de memória desde o endereço 0x0C até 0x4F, o que corresponde a 68 localizações. Os locais da memória RAM são também chamados registos GPR (General Purpose Registers = Registos de uso genérico). Os registos GPR podem ser acedidos sem ter em atenção o banco em que nos encontramos de momento.

Registros SFR

Os registos que ocupam as 12 primeiras localizações nos bancos 0 e 1 são registos especiais e têm a ver com a manipulação de certos blocos do microcontrolador. Estes registos são os SFR (Special Function Registers ou Registos de Funções

Especiais).



Organização da memória no microcontrolador PIC16F84

Bancos de Memória

Além da divisão em 'comprimento' entre registros SFR e GPR, o mapa de memória está também dividido em 'largura' (ver mapa anterior) em duas áreas chamadas 'bancos'. A seleção de um dos bancos é feita por intermédio dos bits RP0 e RP1 do registro STATUS.

Exemplo :

```
bcf STATUS, RP0
```

A instrução BCF "limpa" o bit RP0 (RP0 = 0) do registro STATUS e, assim, coloca-nos no banco 0.

```
bsf STATUS, RP0
```

A instrução BSF põe a um, o bit RP0 (RP0 = 1) do registro STATUS e, assim, coloca-nos no banco 1.

Normalmente, os grupos de instruções muito usados são ligados numa única unidade que pode ser facilmente invocada por diversas vezes num programa, uma unidade desse tipo chama-se genericamente Macro e, normalmente, essa unidade é designada por um nome específico facilmente compreensível. Com a sua utilização, a seleção entre os dois bancos torna-se mais clara e o próprio programa fica mais legível.

```
BANK0 macro
Bcf STATUS, RP0 ;Selecionar o banco 0 da memória
Endm
```

```
BANK1 macro
Bsf STATUS, RP0 ; Selecionar o banco 1 da memória
Endm
```



Os locais de memória 0Ch – 4Fh são registros de uso genérico (GPR) e são usados como memória RAM. Quando os endereços 8Ch – CFh são acedidos, nós acedemos também às mesmas localizações do banco 0. Por outras palavras, quando estamos a trabalhar com os registros de uso genérico, não precisamos de nos preocupar com o banco em que nos encontramos!

Contador de Programa

O contador de programa (PC = Program Counter), é um registro de 13 bits que contém o endereço da instrução que vai ser executada. Ao incrementar ou alterar (por exemplo no caso de saltos) o conteúdo do PC, o microcontrolador consegue executar as todas as instruções do programa, uma após outra.

Pilha

O PIC16F84 tem uma pilha (stack) de 13 bits e 8 níveis de profundidade, o que corresponde a 8 locais de memória com 13 bits de largura. O seu papel básico é guardar o valor do contador de programa quando ocorre um salto do programa principal para o endereço de um subprograma a ser executado. Depois de ter executado o subprograma, para que o microcontrolador possa continuar com o programa principal a partir do ponto em que o deixou, ele tem que ir buscar à pilha esse endereço e carregá-lo no contador de programa. Quando nos movemos de um programa para um subprograma, o conteúdo do contador de programa é empurrado para o interior da pilha (um exemplo disto é a instrução CALL). Quando são executadas instruções tais como RETURN, RETLW ou RETFIE no fim de um subprograma, o contador de programa é retirado da pilha, de modo a que o programa possa continuar a partir do ponto em que a sequência foi interrompida. Estas operações de colocar e extrair da pilha o contador de programa, são designadas por PUSH (meter na pilha) e POP (tirar da pilha), estes dois nomes provêm de instruções com estas designações, existentes nalguns microcontroladores de maior porte.

Programação no Sistema

Para programar a memória de programa, o microcontrolador tem que entrar num modo especial de funcionamento no qual o pino MCLR é posto a 13,5V e a voltagem da alimentação Vdd deve permanecer estável entre 4,5V e 5,5V. A memória de programa pode ser programada em série, usando dois pinos 'data/clock' que devem ser previamente separados do dispositivo em que o microcontrolador está inserido, de modo a que não possam ocorrer erros durante a programação.

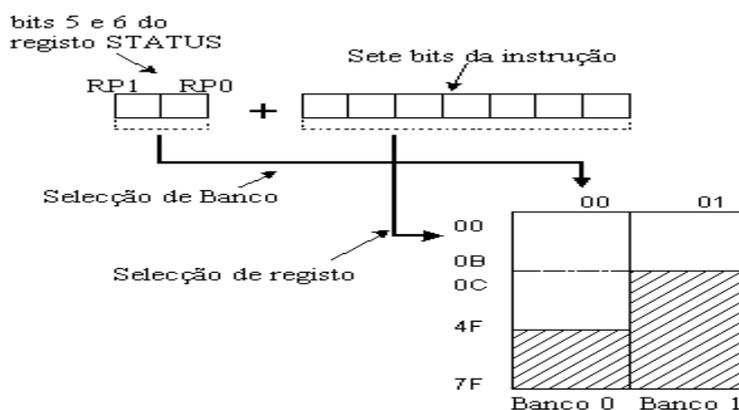
Modos de endereçamento

Os locais da memória RAM podem ser acedidos direta ou indiretamente.

Endereçamento Direto

O endereçamento direto é feito através de um endereço de 9 bits. Este endereço obtém-se juntando aos sete bits do endereço direto de uma instrução, mais dois bits (RP1 e RP0) do registro STATUS, como se mostra na figura que se segue. Qualquer acesso aos registros especiais (SFR), pode ser um exemplo de endereçamento direto.

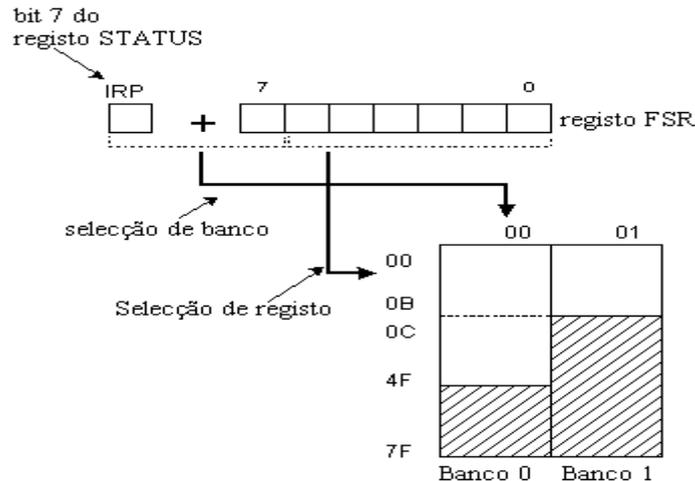
```
Bsf STATUS, RP0 ; Banco 1
movlw 0xFF ; w = 0xFF
movwf TRISA ; o endereço do registro TRISA é tirado do código da instrução movwf TRISA
```



Endereçamento Direto

Endereçamento Indireto

O endereçamento indireto, ao contrário do direto, não tira um endereço do código instrução, mas fá-lo com a ajuda do bit IRP do registo STATUS e do registo FSR. O local endereçado é acessado através do registo INDF e coincide com o endereço contido em FSR. Por outras palavras, qualquer instrução que use INDF como registo, na realidade acede aos dados apontados pelo registo FSR. Vamos supor, por exemplo, que o registo de uso genérico de endereço 0Fh contém o valor 20. Escrevendo o valor de 0Fh no registo FSR, nós vamos obter um ponteiro para o registo 0Fh e, ao ler o registo INDF, nós iremos obter o valor 20, o que significa que lemos o conteúdo do registo 0Fh, sem o mencionar explicitamente (mas através de FSR e INDF). Pode parecer que este tipo de endereçamento não tem quaisquer vantagens sobre o endereçamento direto, mas existem problemas que só podem ser resolvidos de uma forma simples, através do endereçamento indireto.



Endereçamento Indireto

Um exemplo pode ser enviar um conjunto de dados através de uma comunicação série, usando buffers e indicadores (que serão discutidos num capítulo mais à frente, com exemplos), outro exemplo é limpar os registos da memória RAM (16 endereços neste caso) como se pode ver a seguir.

```
Movlw 0x0C          ; definição do endereço de início
Movwf FSR           ; FSR aponta p/ o endereço 0x0C
LOOP  clrf INDF     ; INDF = 0
      incf FSR      ; endereço = endereço inicial + 1
      btfs FSR, 4   ; todos os locais de memória limpos?
      goto loop     ; não, para 'loop' de novo
CONTINUE
      :             ; sim, continuar com o programa
```

Quando o conteúdo do registo FSR é igual a zero, ler dados do registo INDF resulta no valor 0 e escrever em INDF resulta na instrução NOP (no operation = nenhuma operação).

2.6 Interrupções

As interrupções são um mecanismo que o microcontrolador possui e que torna possível responder a alguns acontecimentos no momento em que eles ocorrem, qualquer que seja a tarefa que o microcontrolador esteja a executar no momento. Esta é uma parte muito importante, porque fornece a ligação entre um microcontrolador e o mundo real que nos rodeia. Geralmente, cada interrupção muda a direção de execução do programa, suspendendo a sua execução, enquanto o microcontrolador corre um subprograma que é a rotina de atendimento de interrupção. Depois de este subprograma ter sido executado, o microcontrolador continua com o programa principal, a partir do local em que o tinha abandonado.

bit 6 EEIE (bit de habilitação de interrupção por escrita completa, na EEPROM) bit que habilita uma interrupção quando uma operação de escrita na EEPROM termina.

1= interrupção habilitada

0= interrupção inibida

Se EEIE e EEIF (que pertence ao registro EECON1) estiverem simultaneamente a '1', a interrupção pode ocorrer.

bit 7 GIE (bit de habilitação global de interrupção) bit que permite ou impede todas as interrupções

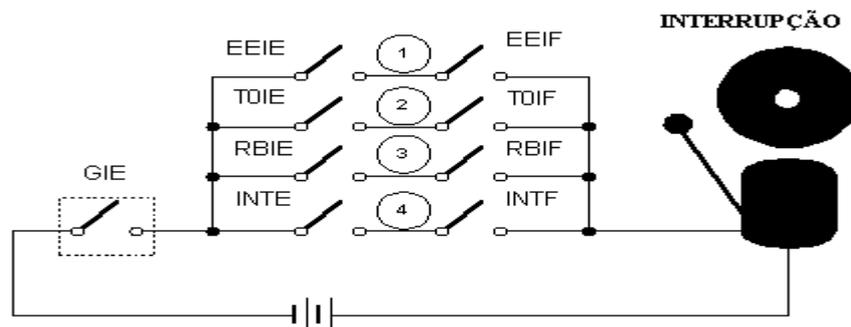
1= todas as interrupções são permitidas

0= todas as interrupções impedidas

O PIC16F84 possui quatro fontes de interrupção:

1. Fim de escrita na EEPROM
2. Interrupção em TMR0 causada por transbordo do temporizador
3. Interrupção por alteração nos pinos RB4, RB5, RB6 e RB7 do porto B.
4. Interrupção externa no pino RB0/INT do microcontrolador

De um modo geral, cada fonte de interrupção tem dois bits associados. Um habilita a interrupção e o outro assinala quando a interrupção ocorre. Existe um bit comum a todas as interrupções chamado GIE que pode ser usado para impedir ou habilitar todas as interrupções, simultaneamente. Este bit é muito útil quando se está a escrever um programa porque permite que todas as interrupções sejam impedidas durante um período de tempo, de tal maneira que a execução de uma parte crítica do programa não possa ser interrompida. Quando a instrução que faz $GIE = 0$ é executada ($GIE = 0$ impede todas as interrupções), todas os pedidos de interrupção pendentes, serão ignorados.



Esquema das interrupções no microcontrolador PIC16F84

As interrupções que estão pendentes e que são ignoradas, são processadas quando o bit GIE é posto a '1' ($GIE = 1$, todas as interrupções permitidas). Quando a interrupção é atendida, o bit GIE é posto a '0', de tal modo que, quaisquer interrupções adicionais sejam inibidas, o endereço de retorno é guardado na pilha e, no contador de programa, é escrito 0004h – somente depois disto, é que a resposta a uma interrupção começa!

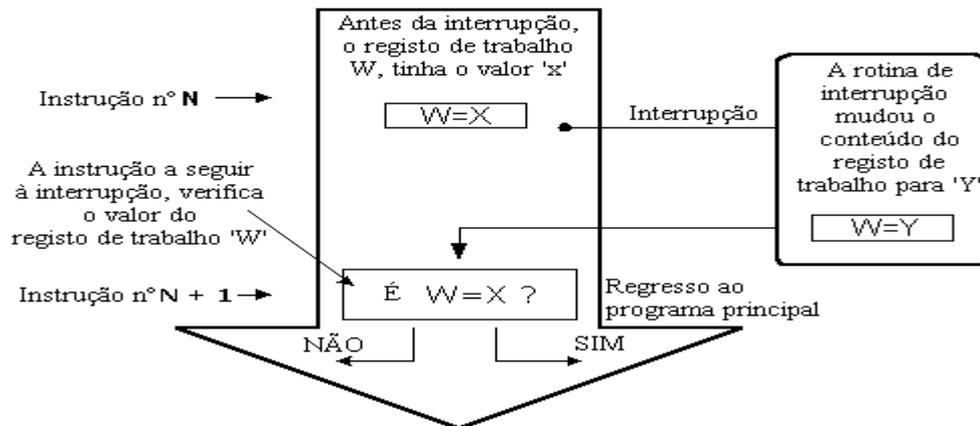
Depois de a interrupção ser processada, o bit que por ter sido posto a '1' permitiu a interrupção, deve agora ser repostado a '0', senão, a rotina de interrupção irá ser automaticamente processada novamente, mal se efetue o regresso ao programa principal.

Guardando os conteúdos dos registos importantes

A única coisa que é guardada na pilha durante uma interrupção é o valor de retorno do contador de programa (por valor de retorno do contador de programa entende-se o endereço da instrução que estava para ser executada, mas que não foi, por causa de ter ocorrido a interrupção). Guardar apenas o valor do contador de programa não é, muitas vezes, suficiente. Alguns registos que já foram usados no programa principal, podem também vir a ser usados na rotina de interrupção. Se nós não salvaguardamos os seus valores, quando acontece o regresso da sub-rotina para o programa principal os conteúdos dos registos podem ser inteiramente diferentes, o que causaria um erro no programa. Um exemplo para este caso é o conteúdo do registo de trabalho W (work register). Se supormos que o programa principal estava a usar o registo de trabalho W nalgumas das suas operações e se ele contiver algum valor que seja importante para a instrução seguinte, então a interrupção que ocorre antes desta instrução vai alterar o valor do registo de trabalho W, indo influenciar diretamente o programa principal.

O procedimento para a gravação de registos importantes antes de ir para a sub-rotina de interrupção, designa-se por 'PUSH', enquanto que o procedimento que recupera esses valores, é chamado POP. PUSH e POP são instruções

provenientes de outros microcontroladores (da Intel), agora esses nomes são aceites para designar estes dois processos de salvaguarda e recuperação de dados. Como o PIC16F84 não possui instruções comparáveis, elas têm que ser programadas.



Uma das possíveis causas de erros é não salvaguardar dados antes de executar um subprograma de interrupção

Devido à sua simplicidade e uso freqüente, estas partes do programa podem ser implementadas com macros. O conceito de Macro é explicado em “Programação em linguagem Assembly”. No exemplo que se segue, os conteúdos de W e do registo STATUS são guardados nas variáveis W_TEMP e STATUS_TEMP antes de correr a rotina de interrupção. No início da rotina PUSH, nós precisamos de verificar qual o banco que está a ser selecionado porque W_TEMP e STATUS_TEMP estão situados no banco 0. Para troca de dados entre estes dois registros, é usada a instrução SWAPF em vez de MOVF, pois a primeira não afeta os bits do registo STATUS.

Exemplo é um programa assembler com os seguintes passos:

1. Verificar em que banco nos encontramos
2. Guardar o registo W qualquer que seja o banco em que nos encontramos
3. Guardar o registo STATUS no banco 0.
4. Executar a rotina de serviço de interrupção ISR (Interrupt Service Routine)
5. Recuperação do registo STATUS
6. Restaurar o valor do registo W

Se existirem mais variáveis ou registros que necessitem de ser salvaguardados, então, precisamos de os guardar depois de guardar o registo STATUS (passo 3) e recuperá-los depois de restaurar o registo STATUS (passo 5).

```

Push
    BTFSS STATUS, RPO          ; Banco 0?
    GOTO RPOCLEAR             ; Sim
    BCF STATUS, RPO           ; Não, ir p/ Banco 0
    MOVWF W_TEMP               ; Guardar registo W
    SWAPF STATUS, W            ; W <- STATUS
    MOVWF STATUS_TEMP          ; STATUS_TEMP <- W
    BSF STATUS_TEMP, 1         ; RPO(STATUS_TEMP)=1
    GOTO ISR_Code              ; Push completado
RPOCLEAR
    MOVWF W_TEMP               ; Guardar registo W
    SWAPF STATUS, W            ; W <- STATUS
    MOVWF STATUS_TEMP          ; STATUS_TEMP <- W
;
; ISR_Code
;
; Subprograma de Interrupção
;
;
; Pop
    SWAPF STATUS_TEMP, W       ; W <- STATUS_TEMP
    MOVWF STATUS               ; STATUS <- W
    BTFSS STATUS, RPO          ; Banco 1?
    GOTO Return_WREG           ; Não
    BCF STATUS, RPO           ; Sim, ir p/ o banco 0
    SWAPF W_TEMP, F            ; Recuperar o conteúdo de W
    SWAPF W_TEMP, W            ;
    BSF STATUS, RPO           ; Regressar ao banco 1
    RETFIE                      ; POP completo
Return_WREG
    SWAPF W_TEMP, F            ; Recuperar o conteúdo de W
    SWAPF W_TEMP, W            ;
    RETFIE                      ; POP completo
  
```

A mesma operação pode ser realizada usando macros, desta maneira obtemos um programa mais legível. Os macros que já estão definidos podem ser usados para escrever novos macros. Os macros BANK1 e BANK0 que são explicados no capítulo “Organização da memória” são usados nos macros ‘push’ e ‘pop’.

```

push    macro
movwf  W_Temp           ;W_Temp <- W
swapf  W_Temp,F        ;trocar a ordem dos bits
BANK1  ;Macro p/ aceder ao banco 1
swapf  OPTION_REG,W   ;W <- OPTION_REG
movwf  Option_Temp     ;Option_Temp <- W
BANK0  ;Macro p/ aceder ao banco 0
swapf  STATUS,W       ;W <- STATUS
movwf  Stat_Temp      ;Stat_Temp <-W
endm    ;Fim do macro push

pop     macro
swapf  Stat_Temp,W     ;W <- Stat_Temp
movwf  STATUS          ;STATUS <- W
BANK1  ;Macro p/ aceder ao banco 1
swapf  Option_Temp,W  ;W <- Option_Temp
movwf  OPTION_REG     ;OPTION_REG <- W
BANK0  ;Macro p/ aceder ao banco 0
swapf  W_Temp,W       ;W <- W_Temp
endm    ;Fim do macro pop

```

Interrupção externa no pino RB0/INT do microcontrolador

A interrupção externa no pino RB0/INT é desencadeada por um impulso ascendente (se o bit INTEDG = 1 no registro OPTION<6>), ou por um impulso descendente (se INTEDG = 0). Quando o sinal correto surge no pino INT, o bit INTF do registro INTCON é posto a ‘1’. O bit INTF (INTCON<1>) tem que ser repostado a ‘0’ na rotina de interrupção, afim de que a interrupção não possa voltar a ocorrer de novo, quando do regresso ao programa principal. Esta é uma parte importante do programa e que o programador não pode esquecer, caso contrário o programa irá constantemente saltar para a rotina de interrupção. A interrupção pode ser inibida, pondo a ‘0’ o bit de controle INTE (INTCON<4>).

Interrupção devido ao transbordar (overflow) do contador TMR0

O transbordar do contador TMR0 (passagem de FFh para 00h) vai pôr a ‘1’ o bit TOIF (INTCON<2>), Esta é uma interrupção muito importante, uma vez que, muitos problemas da vida real podem ser resolvidos utilizando esta interrupção. Um exemplo é o da medição de tempo. Se soubermos de quanto tempo o contador precisa para completar um ciclo de 00h a FFh, então, o número de interrupções multiplicado por esse intervalo de tempo, dá-nos o tempo total decorrido. Na rotina de interrupção uma variável guardada na memória RAM vai sendo incrementada, o valor dessa variável multiplicado pelo tempo que o contador precisa para um ciclo completo de contagem, vai dar o tempo gasto. Esta interrupção pode ser habilitada ou inibida, pondo a ‘1’ ou a ‘0’ o bit TOIE (INTCON<5>).

Interrupção por variação nos pinos 4, 5, 6 e 7 do porto B

Uma variação em 4 bits de entrada do Porto B (bits 4 a 7), põe a ‘1’ o bit RBIF (INTCON<0>). A interrupção ocorre, portanto, quando os níveis lógicos em RB7, RB6, RB5 e RB4 do porto B, mudam do valor lógico ‘1’ para o valor lógico ‘0’ ou vice-versa. Para que estes pinos detectem as variações, eles devem ser definidos como entradas. Se qualquer deles for definido como saída, nenhuma interrupção será gerada quando surgir uma variação do nível lógico. Se estes pinos forem definidos como entradas, o seu valor atual é comparado com o valor anterior, que foi guardado quando se fez a leitura anterior do porto B. Esta interrupção pode ser habilitada/inibida pondo a ‘1’ ou a ‘0’, o bit RBIE do registro INTCON.

Interrupção por fim de escrita na EEPROM

Esta interrupção é apenas de natureza prática. Como escrever num endereço da EEPROM leva cerca de 10ms (o que representa muito tempo quando se fala de um microcontrolador), não é recomendável que se deixe o microcontrolador um grande intervalo de tempo sem fazer nada, à espera do fim da operação da escrita. Assim, dispomos de um mecanismo de interrupção que permite ao microcontrolador continuar a executar o programa principal, enquanto, em simultâneo, procede à escrita na EEPROM. Quando esta operação de escrita se completa, uma interrupção informa o microcontrolador deste fato. O bit EEIF, através do qual esta informação é dada, pertence ao registro EECON1. A ocorrência desta interrupção pode ser impedida, pondo a ‘0’ o bit EEIE do registro INTCON.

Iniciação da interrupção

Para que num microcontrolador se possa usar um mecanismo de interrupção, é preciso proceder a algumas tarefas preliminares. Estes procedimentos são designados resumidamente por “iniciação”. Na iniciação, nós estabelecemos a que interrupções deve o microcontrolador responder e as que deve ignorar. Se não pusermos a ‘1’ o bit que permite uma certa interrupção, o programa vai ignorar a correspondente sub-rotina de interrupção. Por este meio, nós podemos controlar a

ocorrência das interrupções, o que é muito útil.

```
clrf INTCON           ; todas as interrupções impedidas
movlw B'00010000'    ; só autorizada a interrupção externa
movwf INTCON
bsf INTCON, GIE      ; permitida a ocorrência de interrupções
```

O exemplo de cima, mostra a iniciação da interrupção externa no pino RB0 de um microcontrolador. No sítio em que vemos '1', isso significa que essa interrupção está habilitada. A ocorrência de outras interrupções não é permitida, e todas as interrupções em conjunto estão mascaradas até que o bit GIE seja posto a '1'.

O exemplo que se segue, ilustra uma maneira típica de lidar com as interrupções. O PIC16F84 tem somente um endereço para a rotina de interrupção. Isto significa que, primeiro, é necessário identificar qual a origem da interrupção (se mais que uma fonte de interrupção estiver habilitada), e a seguir deve executar-se apenas a parte da sub-rotina que se refere à interrupção em causa.

```
org ISR_ADDR          ;ISR_ADDR é o endereço da rotina de interrupção
btfsc INTCON, GIE     ;bit GIE desligado ?
goto ISR_ADR          ;não, voltar ao princípio
PUSH                  ;guardar os conteúdos dos registos importantes
btfsc INTCON, RBIF    ;variação nos pinos 4, 5, 6 e 7 do porto B?
goto ISR_PORTB        ;saltar para a secção correspondente
btfsc INTCON, INTF    ;ocorreu uma interrupção externa em RB0 ?
goto ISR_RBO          ;saltar p/ esse local
btfsc INTCON, TOIF    ;o temporizador TMRO transbordou ?
goto ISR_TMRO         ;saltar p/ essa secção
BANK1                 ;Banco 1 p/ aceder a EECON1
Btfsc EECON1, EEIF    ;escrita na EEPROM completa?
goto ISR_EEPROM       ;saltar para o endereço correspondente
BANK0                 ;Banco 0

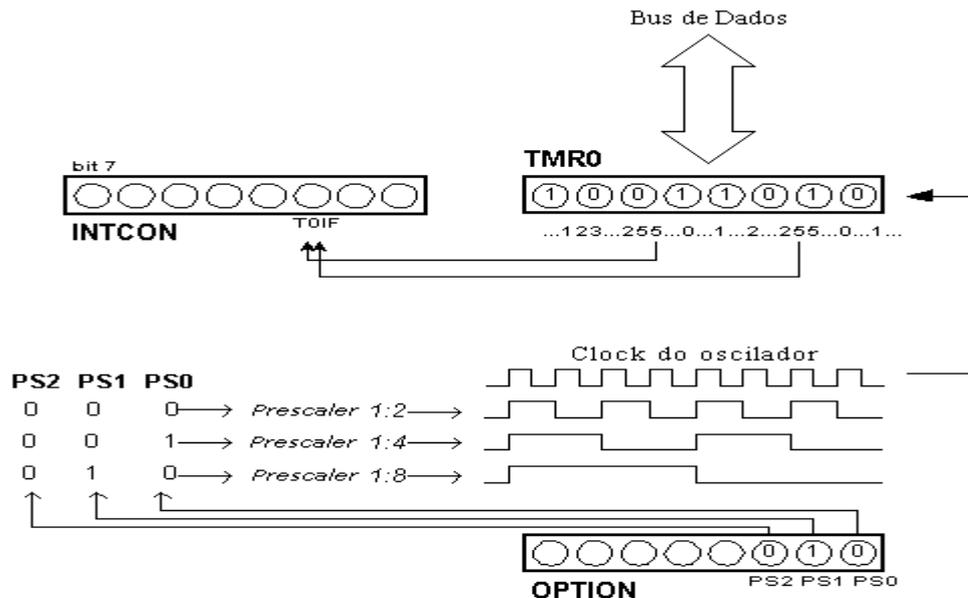
ISR_PORTB
:                    ;parte do código processado por uma
                    ;interrupção?
:
goto END_ISR          ; saltar para a saída da interrupção
ISR_RBO
:                    ;parte de código processado pela interrupção?
:
goto END_ISR          ; saltar para a saída da interrupção
ISR_TMRO
:                    ;parte de código processado pela interrupção?
:
goto END_ISR          ; saltar para a saída da interrupção
ISR_EEPROM
:                    ;parte de código processado pela interrupção?
:
goto END_ISR          ;saltar para a saída da interrupção
END_ISR
POP                   ;recuperar os conteúdos dos
                    ;registos importantes
RETFIE                ;regressar e pôr o bit GIE a '1'
```



O regresso de uma rotina de interrupção pode efetuar-se com as instruções RETURN, RETLW e RETFIE. Recomenda-se que seja usada a instrução RETFIE porque, essa instrução é a única que automaticamente põe a '1' o bit GIE, permitindo assim que novas interrupções possam ocorrer.

2.7 Temporizador TMR0

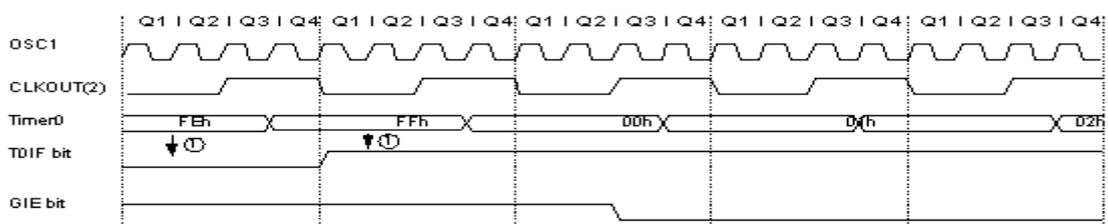
Os temporizadores são normalmente as partes mais complicadas de um microcontrolador, assim, é necessário gastar mais tempo a explicá-los. Servindo-nos deles, é possível relacionar uma dimensão real que é o tempo, com uma variável que representa o estado de um temporizador dentro de um microcontrolador. Fisicamente, o temporizador é um registro cujo valor está continuamente a ser incrementado até 255, chegado a este número, ele começa outra vez de novo: 0, 1, 2, 3, 4, ...,255, 0,1, 2, 3,...., etc.



Relação entre o temporizador TMR0 e o prescaler

O incremento do temporizador é feito em simultâneo com tudo o que o microcontrolador faz. Compete ao programador arranjar maneira de tirar partido desta característica. Uma das maneiras é incrementar uma variável sempre que o microcontrolador transvaza (passa de 255 para 0). Se soubermos de quanto tempo um temporizador precisa para perfazer uma contagem completa (de 0 a 255), então, se multiplicarmos o valor da variável por esse tempo, nós obteremos o tempo total decorrido.

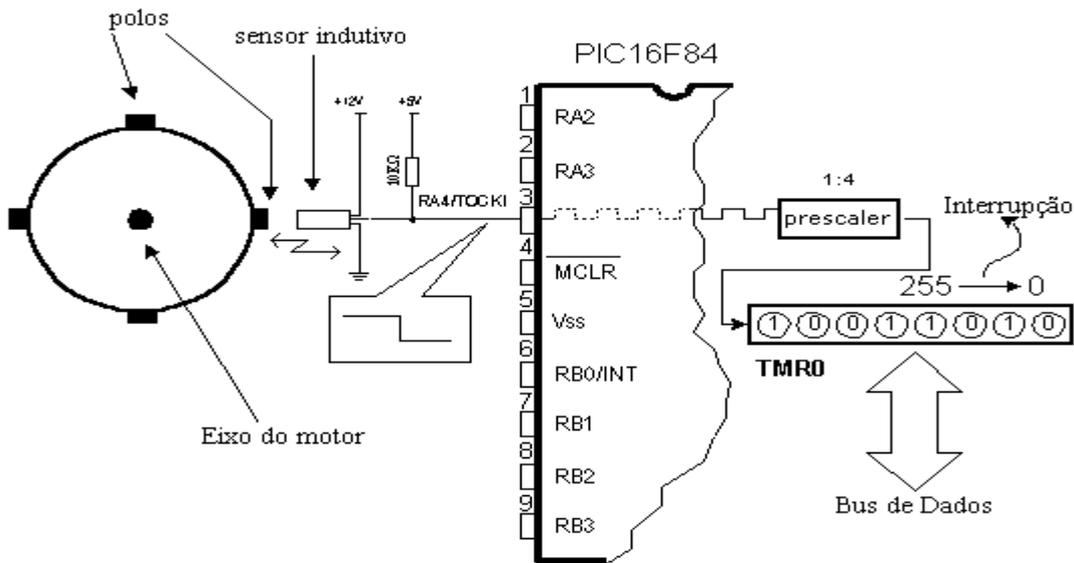
O PIC16F84, possui um temporizador de 8 bits. O número de bits determina a quantidade de valores diferentes que a contagem pode assumir, antes de voltar novamente para zero. No caso de um temporizador de 8 bits esse valor é 256. Um esquema simplificado da relação entre um temporizador e um prescaler está representado no diagrama anterior. Prescaler é a designação para a parte do microcontrolador que divide a frequência de oscilação do clock antes que os respectivos impulsos possam incrementar o temporizador. O número pelo qual a frequência de clock é dividida, está definido nos três primeiros bits do registro OPTION. O maior divisor possível é 256. Neste caso, significa que só após 256 impulsos de clock é que o conteúdo do temporizador é incrementado de uma unidade. Isto permite-nos medir grandes intervalos de tempo.



Notas:1. O estado da flag de interrupção TOIF é verificado em todos os Q1
2. CLKOUT existe só no modo de oscilador RC

Diagrama temporal de uma interrupção causada pelo temporizador TMR0

Quando a contagem ultrapassa 255, o temporizador volta de novo a zero e começa um novo ciclo de contagem até 255. Sempre que ocorre uma transição de 255 para 0, o bit TOIF do registro INTCON é posto a '1'. Se as interrupções estiverem habilitadas, é possível tirar partido das interrupções geradas e da rotina de serviço de interrupção. Cabe ao programador voltar a pôr a '0' o bit TOIF na rotina de interrupção, para que uma nova interrupção possa ser detectada. Além do oscilador de clock do microcontrolador, o conteúdo do temporizador pode também ser incrementado através de um clock externo ligado ao pino RA4/TOCKI. A escolha entre uma destas opções é feita no bit TOCS, pertencente ao registro OPTION. Se for selecionado o clock externo, é possível definir o bordo ativo do sinal (ascendente ou descendente), que vai incrementar o valor do temporizador.



Utilização do temporizador TMR0 na determinação do número de rotações completas do eixo de um motor

Na prática, um exemplo típico que é resolvido através de um clock externo e um temporizador, é a contagem do número de rotações completas do eixo de uma máquina, como por exemplo um enrolador de espiras para transformadores. Vamos considerar que o 'rotor' do motor do enrolador, contém quatro pólos ou saliências. Vamos colocar o sensor indutivo à distância de 5mm do topo da saliência. O sensor indutivo irá gerar um pulso descendente sempre que a saliência se encontre alinhada com a cabeça do sensor. Cada sinal vai representar um quarto de uma rotação completa e, a soma de todas as rotações completas, ficará registado no temporizador TMR0. O programa pode ler facilmente estes dados do temporizador através do bus de dados.

O exemplo seguinte mostra como iniciar o temporizador para contar os impulsos descendentes provenientes de uma fonte de clock externa com um prescaler 1:4.

```

clrf TMR0          ;TMR0=0
clrf INTCON       ;Interrupções inibidas e TOIF = 0
bsf STATUS,RPO   ;Banco 1
movlw B'00110001' ;prescaler 1:4; interrupção externa no bordo descendente
                  ;fonte de clock externa e resistências de pull-up do
                  ;porto B, activadas.

movwf OPTION_REG ;OPTION_REG <- W
TO_OVFL
  btfss INTCON, TOIF ;testando a flag de transbordo
  goto TO_OVFL      ;a interrupção não ocorreu ainda, esperar
;
; (Parte do programa que processa os dados, consoante o número de voltas)
;
goto TO_OVFL      ;esperar que torne a transbordar

```

O mesmo exemplo pode ser implementado através de uma interrupção do modo seguinte:

```
org 0x00          ;endereço de reset
goto Start       ;início do programa

org 0x04          ;endereço de interrupção
goto TO_OVFL     ;início da rotina de interrupção

Start clrf TMR0   ;TMR0=0
clrf INTCON      ;Intrrupções inibidas e TOIF=0
bsf STATUS,RPO   ;Banco 1
movlw B'00110001' ;prescaler 1:4; interrupção externa no bordo descendente
                  ;fonte de clock externa e resistências de pull-up do
                  ;porto B, activadas.

movwf OPTION_REG ;OPTION_REG <- W
bsf INTCON,TOIE  ;interrupção ao transbordar habilitada
bsf INTCON,GIE   ;interrupções permitidas
TO_OVFL

; (Parte do programa que processa os dados, consoante o número de voltas)
;

bcf INTCON,TOIF  ;a flag de interrupção é limpa, para que a próxima interrupção
                  ;possa ser detectada.

retfie           ;regresso da rotina de interrupção
```

O prescaler tanto pode ser atribuído ao temporizador TMR0, como ao watchdog. O watchdog é um mecanismo que o microcontrolador usa para se defender contra "estouros" do programa. Como qualquer circuito eléctrico, também os microcontroladores podem ter uma falha ou algum percalço no seu funcionamento. Infelizmente, o microcontrolador também pode ter problemas com o seu programa. Quando isto acontece, o microcontrolador pára de trabalhar e mantém-se nesse estado até que alguém faça o reset. Por causa disto, foi introduzido o mecanismo de watchdog (cão de guarda). Depois de um certo período de tempo, o watchdog faz o reset do microcontrolador (o que realmente acontece, é que o microcontrolador executa o reset de si próprio). O watchdog trabalha na base de um princípio simples: se o seu temporizador transbordar, é feito o reset do microcontrolador e este começa a executar de novo o programa a partir do princípio. Deste modo, o reset poderá ocorrer tanto no caso de funcionamento correto como no caso de funcionamento incorreto. O próximo passo é evitar o reset no caso de funcionamento correto, isso é feito escrevendo zero no registo WDT (instrução CLRWDT) sempre que este está próximo de transbordar. Assim, o programa irá evitar um reset enquanto está a funcionar correctamente. Se ocorrer o "estouro" do programa, este zero não será escrito, haverá transbordo do temporizador WDT e irá ocorrer um reset que vai fazer com que o microcontrolador comece de novo a trabalhar correctamente.

O prescaler pode ser atribuído ao temporizador TMR0, ou ao temporizador do watchdog, isso é feito através do bit PSA no registo OPTION. Fazendo o bit PSA igual a '0', o prescaler é atribuído ao temporizador TMR0. Quando o prescaler é atribuído ao temporizador TMR0, todas as instruções de escrita no registo TMR0 (CLRF TMR0, MOVWF TMR0, BSF TMR0,...) vão limpar o prescaler. Quando o prescaler é atribuído ao temporizador do watchdog, somente a instrução CLRWDT irá limpar o prescaler e o temporizador do watchdog ao mesmo tempo. A mudança do prescaler está completamente sob o controle do programador e pode ser executada enquanto o programa está a correr.



Existe apenas um prescaler com o seu temporizador. Dependendo das necessidades, pode ser atribuído ao temporizador TMR0 ou ao watchdog, mas nunca aos dois em simultâneo.

Registro de Controle OPTION

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
RBPU ⁽¹⁾	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
bit 7				bit 0			

Legenda:
R = bit p/ ler **w** = bit p/ escrever
U = Não implementado, ao ler-se dá '0' -n = valor de reset 'ao ligar'

bit 0:2 PS0, PS1, PS2 (bits de seleção do divisor prescaler)

O prescaler e como estes bits afetam o funcionamento do microcontrolador, são abordados na secção que trata de TMR0.

Bits	TMR0	WDT
000	1 : 2	1 : 1
001	1 : 4	1 : 2
010	1 : 8	1 : 4
011	1 : 16	1 : 8
100	1 : 32	1 : 16
101	1 : 64	1 : 32
110	1 : 128	1 : 64
111	1 : 256	1 : 128

bit 3 PSA (bit de Atribuição do Prescaler)

Bit que atribui o prescaler ou ao temporizador TMR0 ou ao temporizador do watchdog

1 = o prescaler está atribuído ao temporizador do watchdog.

0 = o prescaler está atribuído ao temporizador TMR0.

bit 4 T0SE (seleção de bordo ativo em TMR0)

Se o temporizador estiver configurado para contar impulsos externos aplicados ao pino RA4/T0CKI, este bit vai determinar quando a contagem irá incidir sobre os impulsos ascendentes ou descendentes do sinal.

1 = bordo descendente

0 = bordo ascendente

bit 5 T0CS (bit de seleção de fonte de clock para TMR0)

Este pino habilita o contador/temporizador TMR0 a incrementar o seu valor ou com os impulsos do oscilador interno, isto é, a 1/4 das oscilações do clock do oscilador, ou através de impulsos externos aplicados ao pino

RA4/T0CKI.

1 = impulsos externos

0 = 1/4 do clock interno

bit 6 INTEDG (bit de seleção do bordo ativo da interrupção)

Se a ocorrência de interrupções estiver habilitada, este bit vai determinar qual o bordo em que a interrupção no pino RB0/INT vai ocorrer.

1 = bordo ascendente

0 = bordo descendente

bit 7 RBPU (Bit de habilitação dos pull-up no porto B)

Este bit introduz ou retira as resistências de pull-up internas do porto B.

1 = resistências de 'pull-up' inseridas

0 = resistências de 'pull-up' retiradas

2.8 Memória de dados EEPROM

O PIC16F84 tem 64 bytes de localizações de memória EEPROM, correspondentes aos endereços de 00h a 63h e onde podemos ler e escrever. A característica mais importante desta memória é de não perder o seu conteúdo quando a alimentação é desligada. Na prática, isso significa que o que lá foi escrito permanece no microcontrolador, mesmo quando a alimentação é desligada. Sem alimentação, estes dados permanecem no microcontrolador durante mais de 40 anos

(especificações do fabricante do microcontrolador PIC16F84), além disso, esta memória suporta até 10000 operações de escrita.

Na prática, a memória EEPROM é usada para guardar dados importantes ou alguns parâmetros de processamento. Um parâmetro deste tipo, é uma dada temperatura, atribuída quando ajustamos um regulador de temperatura para um processo. Se esse valor se perder, seria necessário reintroduzi-lo sempre que houvesse uma falha na alimentação. Como isto é impraticável (e mesmo perigoso), os fabricantes de microcontroladores começaram a instalar nestes uma pequena quantidade de memória EEPROM.

A memória EEPROM é colocada num espaço de memória especial e pode ser acedida através de registros especiais. Estes registros são:

- **EEDATA** no endereço 08h, que contém o dado lido ou aquele que se quer escrever.
- **EEADR** no endereço 09h, que contém o endereço do local da EEPROM que vai ser acedido
- **EECON1** no endereço 88h, que contém os bits de controle.
- **EECON2** no endereço 89h. Este registro não existe fisicamente e serve para proteger a EEPROM de uma escrita acidental.

O registro EECON1 ocupa o endereço 88h e é um registro de controle com cinco bits implementados.

Os bits 5, 6 e 7 não são usados e, se forem lidos, são sempre iguais a zero.

Os bits do registro EECON1, devem ser interpretados do modo que se segue.

Registro EECON1

U-0	U-0	U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-x	R/S-0	R/S-x	
—	—	—	EEIF ⁽¹⁾	WRERR	WREN	WR	RD	
bit 7								bit 0

Legenda:

R = bit p/ ler w = bit p/ escrever
 U = Não implementado, ao ler-se dá '0' -n = valor de reset 'ao ligar'

bit 0 RD (bit de controle de leitura)

Ao pôr este bit a '1', tem início a transferência do dado do endereço definido em EEADR para o registro EEDATA. Como o tempo não é essencial, tanto na leitura como na escrita, o dado de EEDATA pode já ser usado na instrução seguinte.

1 = inicia a leitura

0 = não inicia a leitura

bit 1 WR (bit de controle de escrita)

Pôr este bit a '1' faz iniciar-se a escrita do dado a partir do registro EEDATA para o endereço especificado no registro EEADR.

1 = inicia a escrita

0 = não inicia a escrita

bit 2 WREN (bit de habilitação de escrita na EEPROM). Permite a escrita na EEPROM.

Se este bit não estiver a um, o microcontrolador não permite a escrita na EEPROM.

1 = a escrita é permitida

0 = não se pode escrever

bit 3 WRERR (Erro de escrita na EEPROM). Erro durante a escrita na EEPROM

Este bit é posto a '1' só em casos em que a escrita na EEPROM tenha sido interrompida por um sinal de reset ou por um transbordo no temporizador do watchdog (no caso de este estar ativo).

1 = ocorreu um erro

0 = não houve erros

bit 4 EEIF (bit de interrupção por operação de escrita na EEPROM completa) Bit usado para informar que a escrita do dado na EEPROM, terminou.

Quando a escrita tiver terminado, este bit é automaticamente posto a '1'. O programador tem que repor a '0' o bit EEIF no seu programa, para que possa detectar o fim de uma nova operação de escrita.

1 = escrita terminada

0 = a escrita ainda não terminou ou não começou.

Lendo a Memória EEPROM

Pondo a '1' o bit RD inicia-se a transferência do dado do endereço guardado no registro EEADR para o registro EEDATA. Como para ler os dados não é preciso tanto tempo como a escrevê-los, os dados extraídos do registro EEDATA podem já ser usados na instrução seguinte.

Uma porção de um programa que leia um dado da EEPROM, pode ser semelhante ao seguinte:

```

bcf    STATUS, RPO      ;banco 0, porque EEADR está em 09h
movlw  0x00             ;endereço do local a ler
movwf  EEADR           ;endereço transferido para EEADR
bsf    STATUS, RPO      ;banco 1, porque EECON1 está em 88h
bsf    EECON1, RD      ;ler da EEPROM
bcf    STATUS, RPO      ;banco 0, porque EEDATA está em 08h
movf   EEDATA, W       ;W <-- EEDATA

```

Depois da última instrução do programa, o conteúdo do endereço 0 da EEPROM pode ser encontrado no registro de trabalho w.

Escrevendo na Memória EEPROM

Para escrever dados num local da EEPROM, o programador tem primeiro que endereçar o registro EEADR e introduzir a palavra de dados no registro EEDATA. A seguir, deve colocar-se o bit WR a '1', o que faz desencadear o processo. O bit WR deverá ser posto a '0' e o bit EEIF será posto a '1' a seguir à operação de escrita, o que pode ser usado no processamento de interrupções. Os valores 55h e AAh são as primeira e segunda chaves que tornam impossível que ocorra uma escrita acidental na EEPROM. Estes dois valores são escritos em EECON2 que serve apenas para isto, ou seja, para receber estes dois valores e assim prevenir contra uma escrita acidental na memória EEPROM. As linhas do programa marcadas como 1, 2, 3 e 4 têm que ser executadas por esta ordem em intervalos de tempo certos. Portanto, é muito importante desativar as interrupções que possam interferir com a temporização necessária para executar estas instruções. Depois da operação de escrita, as interrupções podem, finalmente, ser de novo habilitadas.

Exemplo da porção de programa que escreve a palavra 0xEE no primeiro endereço da memória EEPROM:

```

bcf    STATUS, RPO      ;banco 0, porque EEADR está em 09h
movlw  0x00             ;endereço do local de memória
                                ;em que se quer escrever
movwf  EEADR           ;endereço transferido para
                                ;EEADR
movlw  0xEE             ;escrever o valor 0xEE
movwf  EEDATA          ;dado no registo EEDATA
bsf    STATUS, RPO      ;banco 1
bcf    INTCON, GIE     ;todas as interrupções impedidas
bsf    EECON1, WREN    ;permissão de escrita
movlw  55h
1)    movwf EECON2      ;1ª chave    55h --> EECON2
2)    movlw AAh
3)    movwf EECON2      ;2ª chave    AAh --> EECON2
4)    bsf  EECON1, WR   ;iniciar a escrita
        bsf  INTCON, GIE ;interrupções habilitadas

```



Recomenda-se que WREN esteja sempre inativo, exceto quando se está a escrever uma palavra de dados na EEPROM, deste modo, a possibilidade de uma escrita acidental é mínima.

Todas as operações de escrita na EEPROM 'limpam' automaticamente o local de memória, antes de escrever de novo nele !

Conjunto de Instruções

Conjunto de Instruções da Família PIC16Cxx de Microcontroladores

O conjunto completo compreende 35 instruções e mostra-se na tabela que se segue. Uma razão para este pequeno número de instruções resulta principalmente do fato de estarmos a falar de um

microcontrolador RISC cujas instruções foram otimizadas tendo em vista a rapidez de funcionamento, simplicidade de arquitetura e compactação de código. O único inconveniente, é que o programador tem que dominar a técnica “desconfortável” de fazer o programa com apenas 35 instruções.

Transferência de dados

A transferência de dados num microcontrolador, ocorre entre o registro de trabalho (W) e um registro 'f' que representa um qualquer local de memória na RAM interna (quer se trate de um registro especial ou de um registro de uso genérico).

As primeiras três instruções (observe a tabela seguinte) referem-se à escrita de uma constante no registro W (MOVLW é uma abreviatura para MOVa Literal para W), à cópia de um dado do registro W na RAM e à cópia de um dado de um registro da RAM no registro W (ou nele próprio, caso em que apenas a flag do zero é afetada) . A instrução CLRF escreve a constante 0 no registro 'f' e CLRW escreve a constante 0 no registro W. A instrução SWAPF troca o nibble (conjunto de 4 bits) mais significativo com o nibble menos significativo de um registro, passando o primeiro a ser o menos significativo e o outro o mais significativo do registro.

Lógicas e aritméticas

De todas as operações aritméticas possíveis, os microcontroladores PIC, tal como a grande maioria dos outros microcontroladores, apenas suportam a subtração e a adição. Os bits ou flags C, DC e Z, são afetados conforme o resultado da adição ou da subtração, com uma única exceção: uma vez que a subtração é executada como uma adição com um número negativo, a flag C (Carry), comporta-se inversamente no que diz respeito à subtração. Por outras palavras, é posta a '1' se a operação é possível e posta a '0' se um número maior tiver que ser subtraído de outro mais pequeno.

A lógica dentro do PIC tem a capacidade de executar as operações AND, OR, EX-OR, complemento (COMF) e rotações (RLF e RRF).

Estas últimas instruções, rodam o conteúdo do registro através desse registro e da flag C de uma casa para a esquerda (na direção do bit 7), ou para a direita (na direção do bit 0). O bit que sai do registro é escrito na flag C e o conteúdo anterior desta flag, é escrito no bit situado do lado oposto no registro.

Operações sobre bits

As instruções BCF e BSF põem a '0' ou a '1' qualquer bit de qualquer sítio da memória. Apesar de parecer uma operação simples, ela é executada do seguinte modo, o CPU primeiro lê o byte completo, altera o valor de um bit e, a seguir, escreve o byte completo no mesmo sítio.

Direção de execução de um programa

As instruções GOTO, CALL e RETURN são executadas do mesmo modo que em todos os outros microcontroladores, a diferença é que a pilha é independente da RAM interna e é limitada a oito níveis. A instrução 'RETLW k' é idêntica à instrução RETURN, exceto que, ao regressar de um subprograma, é escrita no registro W uma constante definida pelo operando da instrução. Esta instrução, permite-nos implementar facilmente listagens (também chamadas tabelas de lookup). A maior parte das vezes, usamo-las determinando a posição do dado na nossa tabela adicionando-a ao endereço em que a tabela começa e, então, é lido o dado nesse local (que está situado normalmente na memória de programa).

A tabela pode apresentar-se como um subprograma que consiste numa série de instruções 'RETLW k' onde as constantes 'k', são membros da tabela.

```
Main    movlw 2
        call Lookup
Lookup  addwf PCL, f
        retlw k
        retlw k1
        retlw k2
        :
        :
        retlw kn
```

Nós escrevemos a posição de um membro da nossa tabela no registo *W* e, usando a instrução *CALL*, nós chamamos o subprograma que contém a tabela. A primeira linha do subprograma 'ADDWF PCL, f', adiciona a posição na tabela e que está escrita em *W*, ao endereço do início da tabela e que está no registo *PCL*, assim, nós obtemos o endereço real do dado da tabela na memória de programa. Quando regressamos do subprograma, nós vamos ter no registo *W* o conteúdo do membro da tabela endereçado. No exemplo anterior, a constante 'k2' estará no registo *W*, após o retorno do subprograma.

RETFIE (RETurn From Interrupt – Interrupt Enable ou regresso da rotina de interrupção com as interrupções habilitadas) é um regresso da rotina de interrupção e difere de RETURN apenas em que, automaticamente, põe a '1' o bit GIE (habilitação global das interrupções). Quando a interrupção começa, este bit é automaticamente reposto a '0'. Também quando a interrupção tem início, somente o valor do contador de programa é posto no cimo da pilha. Não é fornecida uma capacidade automática de armazenamento do registo de estado.

Os saltos condicionais estão sintetizados em duas instruções: BTFSC e BTFSS. Consoante o estado lógico do bit do registo 'f' que está a ser testado, a instrução seguinte no programa é ou não executada.

Período de execução da instrução

Todas as instruções são executadas num único ciclo, exceto as instruções de ramificação condicional se a condição for verdadeira, ou se o conteúdo do contador de programa for alterado pela instrução. Nestes casos, a execução requer dois ciclos de instrução e o segundo ciclo é executado como sendo um NOP (Nenhuma Operação). Quatro oscilações de clock perfazem um ciclo de instrução. Se estivermos a usar um oscilador com 4MHz de frequência, o tempo normal de execução de uma instrução será de 1µs e, no caso de uma ramificação condicional de 2µs.

Listagem das palavras

f qualquer local de memória num microcontrolador
W registo de trabalho
b posição de bit no registo 'f'
d registo de destino
label grupo de oito caracteres que marca o início de uma parte do programa (rótulo)
TOS cimo da pilha
[] opcional <> grupo de bits num registo

Menemónica		Descrição		Flag	CLK	Notas
Transferência de dados						
MOVLW	k	Mova literal para W	$k \rightarrow W$		1	
MOVWF	f	Mova W para f	$W \rightarrow f$		1	
MOVF	f, d	Mova f	$f \rightarrow d$	Z	1	1, 2
CLRW	-	Clear W (limpar W)	$0 \rightarrow W$	Z	1	
CLRF	f	Clear f (limpar f)	$0 \rightarrow f$	Z	1	2
SWAPF	f, d	Swap nibbles in f (trocar)	$f(7:4), (3:0) \rightarrow f(3:0), (7:4)$		1	1, 2
Lógicas e Aritméticas						
ADDLW	k	Adicionar literal a W	$W+k \rightarrow W$	C, DC, Z	1	
ADDWF	f, d	Adicionar W a f	$W+f \rightarrow d$	C, DC, Z	1	1, 2
SUBLW	k	Subtrair W de literal	$k-W \rightarrow W$	C, DC, Z	1	
SUBWF	f, d	Subtrair W de f	$f-W \rightarrow d$	C, DC, Z	1	1, 2
ANDLW	k	AND literal com W	$W \cdot \text{AND}, k \rightarrow W$	Z	1	
ANDWF	f, d	AND W com f	$W \cdot \text{AND}, f \rightarrow d$	Z	1	1, 2
IORLW	k	Inclusivo OR de literal com W	$W \cdot \text{OR}, k \rightarrow W$	Z	1	
IORWF	f, d	Inclusivo OR de W com f	$W \cdot \text{OR}, f \rightarrow d$	Z	1	1, 2
XORWF	f, d	Exclusivo OR de W com f	$W \cdot \text{XOR}, f \rightarrow d$	Z	1	1, 2
XORLW	k	Exclusivo OR de literal com W	$W \cdot \text{XOR}, k \rightarrow W$	Z	1	
INCF	f, d	Incrementar f	$f+1 \rightarrow f$	Z	1	1, 2
DECF	f, d	Decrementar f	$f-1 \rightarrow f$	Z	1	1, 2
RLF	f, d	Rode f p/ esquerda com o carry	$\leftarrow C \leftarrow (7)6)5)4)3)2)1)0 \leftarrow$	C	1	1, 2
RRF	f, d	Rode f p/ a direita com o carry	$(7)6)5)4)3)2)1)0 \rightarrow C \rightarrow$	C	1	1, 2
COMF	f, d	Complementar f	$f \rightarrow d$	Z	1	1, 2
Operações sobre bits						
BCF	f, b	Bit Clear f (bit de f a '0')	$0 \rightarrow f(b)$		1	1, 2
BSF	f, b	Bit Set f (bit de f a '1')	$1 \rightarrow f(b)$		1	1, 2
Direcionamento do programa						
BTFSC	f, b	Bit Test f, Salte se Clear ('0')	salte se $f(b)=0$		1(2)	3
BTFSS	f, b	Bit Test f, Salte se Set ('1')	salte se $f(b)=1$		1(2)	3
DECFSZ	f, d	Decremente f, salte se der 0	$f-1 \rightarrow d$, salte se der 0		1(2)	1, 2, 3
INCFSZ	f, d	Incremente f, salte se der 0	$f+1 \rightarrow d$, salte se der 0		1(2)	1, 2, 3
GOTO	k	Go to address (Ir p/ endereço)	$k \rightarrow PC$		2	
CALL	k	Chamar subrotina	$PC \rightarrow TOS, k \rightarrow PC$		2	
RETURN	-	Retorno de subrotina	$TOS \rightarrow PC$		2	
RETLW	k	Retorno com literal em W	$k \rightarrow W, TOS \rightarrow PC$		2	
RETFIE	-	Retorno de interrupção	$TOS \rightarrow PC, 1 \rightarrow GIE$		2	
Outras instruções						
NOP	-	Nenhuma operação			1	
CLRWDI	-	Temporizador do Watchdog=0	$0 \rightarrow WDT, 1 \rightarrow TO, 1 \rightarrow PD$	<u>TO, PD</u>	1	
SLEEP	-	Entrar no modo 'sleep'	$0 \rightarrow WDT, 1 \rightarrow TO, 0 \rightarrow PD$	<u>TO, PD</u>	1	

- *1 Se o porto de entrada/saída for o operando origem, é lido o estado dos pinos do microcontrolador.
- *2 Se esta instrução for executada no registro TMR0 e se d=1, o prescaler atribuído a esse temporizador é automaticamente limpo.
- *3 Se o PC for modificado ou se resultado do teste for verdadeiro, a instrução é executada em dois ciclos.

Programação em Linguagem Assembly

Introdução

A capacidade de comunicar é da maior importância nesta área. Contudo, isso só é possível se ambas as partes usarem a mesma linguagem, ou seja, se seguirem as mesmas regras para comunicarem. Isto mesmo se aplica à comunicação entre os microcontroladores e o homem. A linguagem que o microcontrolador e o homem usam para comunicar entre si é designada por "linguagem assembly". O próprio título não tem um significado profundo, trata-se de apenas um nome como por exemplo inglês ou francês. Mais precisamente, "linguagem assembly" é apenas uma solução transitória. Os programas escritos em linguagem assembly devem ser traduzidos para uma "linguagem de zeros e uns" de modo a que um microcontrolador a possa receber. "Linguagem assembly" e "assembler" são coisas diferentes. A primeira, representa um conjunto de regras usadas para escrever um programa para um microcontrolador e a outra, é um programa que corre num computador pessoal que traduz a linguagem assembly para uma

linguagem de zeros e uns. Um programa escrito em “zeros” e “uns” diz-se que está escrito em “linguagem máquina”.

O processo de comunicação entre o homem e o microcontrolador

Fisicamente, “**Programa**” representa um ficheiro num disco de computador (ou na memória se estivermos a ler de um microcontrolador) e é escrito de acordo com as regras do assembly ou qualquer outra linguagem de programação de microcontroladores. O homem pode entender a linguagem assembly já que ela é constituída por símbolos alfabéticos e palavras. Ao escrever um programa, certas regras devem ser seguidas para alcançar o efeito desejado. Um **Tradutor** interpreta cada instrução escrita em linguagem assembly como uma série de zeros e uns com significado para a lógica interna do microcontrolador.

Consideremos, por exemplo, a instrução “RETURN” que um microcontrolador utiliza para regressar de um subprograma.

Quando o assembler a traduz, nós obtemos uma série de uns e zeros correspondentes a 14 bits que o microcontrolador sabe como interpretar.

Exemplo: RETURN 00 0000 0000 1000

Analogamente ao exemplo anterior, cada instrução assembly é interpretada na série de zeros e uns correspondente.

O resultado desta tradução da linguagem assembly, é designado por um ficheiro de “execução”. Muitas vezes encontramos o nome de ficheiro “HEX”. Este nome provém de uma representação hexadecimal desse ficheiro, bem como o sufixo “hex” no título, por exemplo “correr.hex”. Uma vez produzido, o ficheiro de execução é inserido no microcontrolador através de um programador.

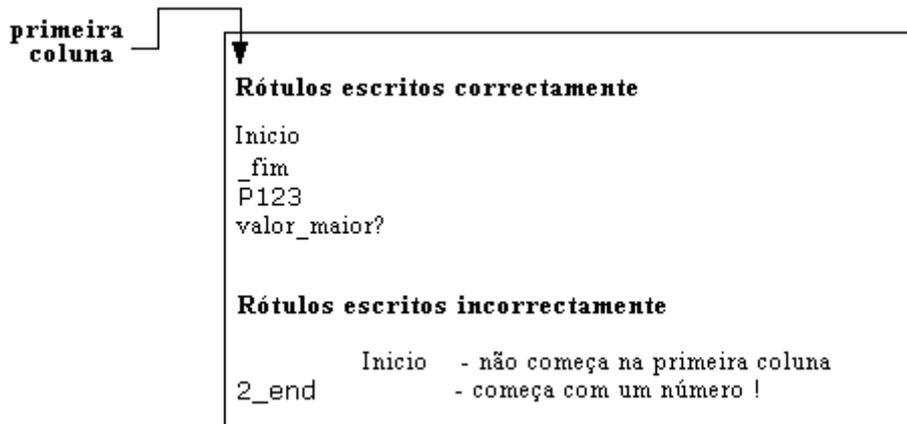
Um programa em **Linguagem Assembly** é escrito por intermédio de um processador de texto (editor) e é capaz de produzir um ficheiro ASCII no disco de um computador ou em ambientes próprios como o MPLAB – que vai ser explicado no próximo capítulo.

Linguagem Assembly

Os elementos básicos da linguagem assembly são:

- Labels (rótulos)
- Instruções
- Operandos
- Diretivas
- Comentários

Um **Label** (rótulo) é uma designação textual (geralmente de fácil leitura) de uma linha num programa ou de uma secção de um programa para onde um microcontrolador deve saltar ou, ainda, o início de um conjunto de linhas de um programa. Também pode ser usado para executar uma ramificação de um programa (tal como Goto...), o programa pode ainda conter uma condição que deve ser satisfeita, para que uma instrução Goto seja executada. É importante que um rótulo (label) seja iniciado com uma letra do alfabeto ou com um traço baixo “_”. O comprimento de um rótulo pode ir até 32 caracteres. É também importante que o rótulo comece na primeira coluna.



Instruções

As instruções são específicas para cada microcontrolador, assim, se quisermos utilizar a linguagem assembly temos que estudar as instruções desse microcontrolador. O modo como se escreve uma instrução é designado por "sintaxe". No exemplo que se segue, é possível reconhecer erros de escrita, dado que as instruções movlp e gotto não existem no microcontrolador PIC16F84.

Instruções escritas correctamente

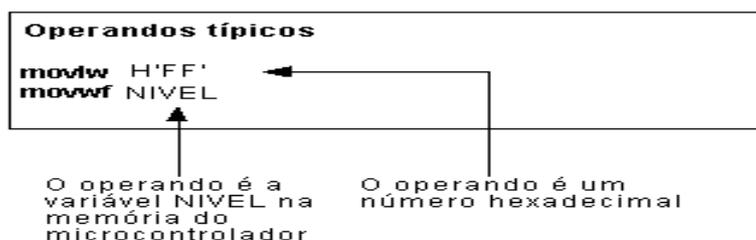
```
movlw  H'FF'
goto   Inicio
```

Instruções incorrectamente escritas

```
movlp  H'FF'
gotto  Inicio
```

Operandos

Operandos são os elementos da instrução necessários para que a instrução possa ser executada. Normalmente são **registros, variáveis e constantes**. As constantes são designadas por "literais". A palavra literal significa "número".



Comentários

Comentário é um texto que o programador escreve no programa a fim de tornar este mais claro e legível. É colocado logo a seguir a uma instrução e deve começar com uma semivírgula ";".

Diretivas

Uma **diretiva** é parecida com uma instrução mas, ao contrário desta, é independente do tipo de microcontrolador e é uma característica inerente à própria linguagem assembly. As diretivas servem-se de variáveis ou registros para satisfazer determinados propósitos. Por exemplo, NIVEL, pode ser uma designação para uma variável localizada no endereço 0Dh da memória RAM. Deste modo, a variável que reside nesse endereço, pode ser acedida pela palavra NIVEL. É muito mais fácil a um programador recordar a palavra NIVEL, que lembra que o endereço 0Dh contém informação sobre o nível.

Algumas directivas usadas frequentemente:

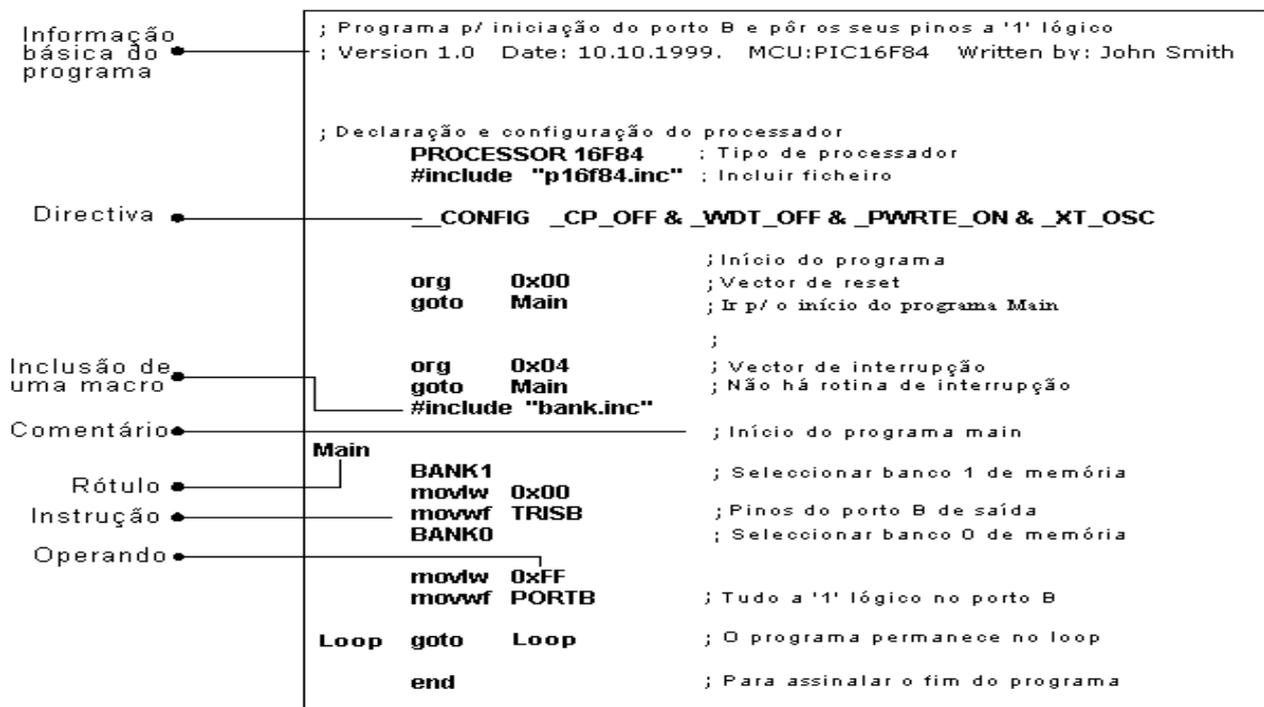
```
PROCESSOR 16F84
#include "p16f84.inc"

__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
```

Exemplo de como se escreve um programa

O exemplo que se segue, mostra como um programa simples pode ser escrito em linguagem assembly, respeitando regras básicas.

Quando se escreve um programa, além das regras fundamentais, existem princípios que, embora não obrigatórios é conveniente, serem seguidos. Um deles, é escrever no seu início, o nome do programa, aquilo que o programa faz, a versão deste, a data em que foi escrito, tipo de microcontrolador para o qual foi escrito e o nome do programador.



Uma vez que estes dados não interessam ao tradutor de assembly, são escritos na forma de **comentários**. Deve ter-se em atenção que um comentário começa sempre com ponto e vírgula e pode ser colocado na linha seguinte ou logo a seguir à instrução. Depois deste comentário inicial ter sido escrito, devem incluir-se as directivas. Isto se mostra no exemplo de cima.

Para que o seu funcionamento seja correto, é preciso definir vários parâmetros para o microcontrolador, tais como:

- tipo de oscilador
- quando o temporizador do watchdog está ligado e
- quando o circuito interno de reset está habilitado.

Tudo isto é definido na directiva seguinte:

```
__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
```

Logo que todos os elementos de que precisamos tenham sido definidos, podemos começar a escrever o programa.

Primeiro, é necessário definir o endereço para que o microcontrolador deve ir quando se liga a

alimentação. É esta a finalidade de (org 0x00).

O endereço para onde um programa salta se ocorrer uma interrupção é (org 0x04).

Como este é um programa simples, é suficiente dirigir o microcontrolador para o início de um programa com uma instrução "**goto Main**" (Main = programa principal).

As instruções encontradas em **Main**, selecionam o banco 1 (BANK1) de modo a poder aceder-se ao registo TRISB, afim de que o porto B seja definido como uma saída (movlw 0x00, movwf TRISB).

O próximo passo é selecionar o banco de memória 0 e colocar os bits do porto B no estado lógico '1' e, assim, o programa principal fica terminado.

É preciso, no entanto, um outro ciclo (loop), onde o microcontrolador possa permanecer sem que ocorram erros. Trata-se de um 'loop' infinito que é executado continuamente, enquanto a alimentação não for desligada. Finalmente, é necessário colocar a palavra "end" no fim de cada programa, de modo a informar o tradutor de assembly de que o programa não contém mais instruções.

Diretivas de controle

4.1 #DEFINE Troca de uma porção de texto por outra

Sintaxe:

```
#define<nome> [< texto atribuído a nome > ]
```

Descrição:

De cada vez que a palavra <nome> aparece no programa, vai ser substituída por <texto atribuído a nome>.

Exemplo:

```
#define ligado 1  
#define desligado 0
```

Diretivas similares: #UNDEFINE, IFDEF, IFNDEF

4.2 INCLUDE Incluir um ficheiro adicional num programa

Sintaxe:

```
include <<nome_do_ficheiro>>  
include "<nome_do_ficheiro>"
```

Descrição:

A aplicação desta diretiva faz com que um ficheiro completo seja copiado para o local em que a diretiva "include" se encontra. Se o nome do ficheiro estiver entre aspas, estamos a lidar com um ficheiro do sistema, se não estiver entre aspas, mas sim entre os sinais < >, trata-se de um ficheiro do utilizador. A diretiva "include", contribui para uma melhor apresentação do programa principal.

Exemplo:

```
include < regs.h >  
include "subprog.asm"
```

4.3 CONSTANT Atribui um valor numérico constante a uma designação textual

Sintaxe:

constant < nome > = < valor >

Descrição:

Cada vez que < nome > aparece no programa, é substituído por < valor > .

Exemplo:

```
constant MAXIMO = 100
constant Comprimento = 30
```

Diretivas similares: SET, VARIABLE

4.4 VARIABLE Atribui um valor numérico variável à designação textual

Sintaxe:

variable < nome > = < valor >

Descrição:

Ao utilizar esta diretiva, a designação textual muda o seu valor.

Difere da diretiva CONSTANT no fato de, depois de a diretiva ser aplicada, o valor da designação textual pode variar.

Exemplo:

```
variable nível = 20
variable tempo = 13
```

Diretivas similares: SET, CONSTANT

4.5 SET Definir uma variável assembler

Sintaxe:

< nome_variavel > set <valor>

Descrição:

À variável < nome_variavel > é atribuída a expressão <valor> . A diretiva SET é semelhante a EQU, mas com a diretiva SET é possível tornar a definir a variável com outro valor.

Exemplo:

```
nível set 0
comprimento set 12
nível set 45
```

Diretivas similares: EQU, VARIABLE

4.6 EQU Definindo uma constante em assembler

Sintaxe:

< nome_da_constante > equ < valor >

Descrição:

Ao nome de uma constante < nome_de_constante > é atribuído um valor < valor >

Exemplo:

```
cinco equ 5
seis equ 6
sete equ 7 Instruções similares: SET
```

4.7 ORG Define o endereço a partir do qual o programa é armazenado na memória do microcontrolador

Sintaxe:

<rótulo> org <valor>

Descrição:

Esta é a diretiva mais frequentemente usada. Com esta diretiva nós definimos em que sítio na memória de programa o programa vai começar.

Exemplo:

```
Inicio org 0x00
movlw 0xFF
movwf PORTB
```

Estas duas instruções a seguir à diretiva 'org', são guardadas a partir do endereço 00.

4.8 END Fim do programa

Sintaxe:

end

Descrição:

No fim do programa, é necessário colocar a diretiva 'end', para que o tradutor do assembly (assembler), saiba que não existem mais instruções no programa.

Exemplo:

```
.
.
movlw 0xFF
movwf PORTB
end
```

Instruções condicionais

4.9 IF Ramificação condicional do programa

Sintaxe:

if <termo_condicional>

Descrição:

Se a condição em <termo_condicional> estiver satisfeita, a parte do programa que se segue à diretiva IF, deverá ser executada. Se a condição não for satisfeita, então é executada a parte que se segue às diretivas ELSE ou ENDIF.

Exemplo:

```
if nível = 100
goto ENCHER
else
goto DESPEJAR
endif
```

Diretivas similares: ELSE, ENDIF

4.10 ELSE Assinala um bloco alternativo se a condição termo_condicional presente em 'IF' não se verificar

Sintaxe:

Else

Descrição:

Usado com a diretiva IF como alternativa no caso de termo_condicional ser falso.

Exemplo:

```
if tempo < 50
goto DEPRESSA
else goto DEVAGAR
endif
```

Instruções similares: ENDIF, IF

4.11 ENDIF Fim de uma secção condicional do programa

Sintaxe:

endif

Descrição:

Esta diretiva é escrita no fim de um bloco condicional, para informar o tradutor do assembly de que o bloco condicional terminou.

Exemplo:

```
if nível = 100
goto METER
else
goto TIRAR
endif
```

Diretivas similares: ELSE, IF

4.12 WHILE A execução da secção do programa prossegue, enquanto a condição se verificar

Sintaxe:

```
while <condição>
.
endw
```

Descrição:

As linhas do programa situadas entre WHILE e ENDW devem ser executadas, enquanto a condição for verdadeira. Se a condição deixar de se verificar, o programa deverá executar as instruções a partir da linha que sucede a ENDW. O número de instruções compreendidas entre WHILE e ENDW pode ir até 100 e podem ser executadas até 256 vezes.

Exemplo:

```
while i < 10
i = i + 1
endw
```

4.13 ENDW Fim da parte condicional do programa

Sintaxe:

endw

Descrição:

Esta diretiva é escrita no fim do bloco condicional correspondente a WHILE, assim, o assembler fica a saber que o bloco condicional chegou ao fim.

Exemplo:

```
while i < 10
i = i + 1
.
endw
```

Diretivas similares: WHILE

4.14 IFDEF Executar uma parte do programa se um símbolo estiver definido

Sintaxe:

```
ifdef < designação >
```

Descrição:

Se a designação <designação> tiver sido previamente definida (normalmente através da diretiva #DEFINE), as instruções que se lhe sucedem serão executadas até encontrarmos as diretivas ELSE ou ENDIF.

Exemplo:

```
#define teste
.
ifdef teste ; como teste foi definido
.....; as instruções nestas linhas vão ser executadas
endif
```

Diretivas similares: #DEFINE, ELSE, ENDIF, IFNDEF, #UNDEFINE

4.15 IFNDEF Execução de uma parte do programa se o símbolo não tiver sido definido

Sintaxe:

```
ifndef <designação>
```

Descrição:

Se a designação <designação> não tiver sido previamente definida ou se esta definição tiver sido mandada ignorar através da diretiva #UNDEFINE, as instruções que se seguem deverão ser executadas, até que as diretivas ELSE ou ENDIF, sejam alcançadas.

Exemplo:

```
#define teste
.....
#undefine teste
.....
ifndef teste ; como teste não está definido
..... ; as instruções nestas linhas são executadas
endif
```

Diretivas similares: #DEFINE, ELSE, ENDIF, IFDEF, #UNDEFINE

Diretivas de Dados

4.16 CBLOCK Definir um bloco para as constantes nomeadas

Sintaxe:

```
Cblock [< termo >]
<rótulo> [:<incremente>], <rótulo> [:<incremente>],.....
```

endc

Descrição:

Esta diretiva é usada para atribuir valores às constantes a seguir nomeadas. A cada termo seguinte, é atribuído um valor superior em uma unidade ao anterior. No caso de <incremente> estar preenchido, então é o valor de <incremente> que é adicionado à constante anterior. O valor do parâmetro <termo>, é o valor inicial. Se não for dado, então, por defeito, é considerado igual a zero.

Exemplo:

```
cblock 0x02
primeiro, segundo ; primeiro = 0x02, segundo = 0x03
terceiro ; terceiro = 0x04
endc
```

```
cblock 0x02
primeiro : 4, segundo : 2 ; primeiro = 0x06, segundo = 0x08
terceiro ; terceiro = 0x09
endc
```

Diretivas similares: ENDC

4.17 ENDC Fim da definição de um bloco de constantes

Sintaxe:

endc

Descrição:

Esta diretiva é utilizada no fim da definição de um bloco de constantes, para que o tradutor de assembly saiba que não há mais constantes.

Diretivas similares: CBLOCK

4.18 DB Definir um byte de dados

Sintaxe:

[<termo>] db <termo> [, <termo>,.....,<termo>]

Descrição:

Esta diretiva reserva um byte na memória de programa. Quando há mais termos a quem é preciso atribuir bytes, eles serão atribuídos um após outro.

Exemplo:

```
db 't', 0x0f, 'e', 's', 0x12
```

Instruções similares: DE, DT

4.19 DE – Definir byte na memória EEPROM

Sintaxe:

[<termo>] de <termo> [, <termo>,.....,<termo>]

Descrição:

Esta diretiva reserva um byte na memória EEPROM. Apesar de ser destinada em primeiro lugar para a memória EEPROM, também pode ser usada em qualquer outro local de memória.

Exemplo:

org H'2100'
de "Versão 1.0", 0

Diretivas similares: DB, DT

4.20 DT Definindo uma tabela de dados

Sintaxe:

[<termo>] dt <termo> [, <termo>,.....,<termo>]

Descrição:

Esta diretiva vai gerar uma série de instruções RETLW, uma instrução para cada termo.

dt "Mensagem" , 0
dt primeiro, segundo, terceiro

Diretivas similares: DB, DE

Configurando uma diretiva

4.21 __CONFIG Estabelecer os bits de configuração

Sintaxe:

__config<termo> ou __config <endereço>, <termo>

Descrição:

São definidos o tipo de oscilador, e a utilização do watchdog e do circuito de reset interno. Antes de usar esta diretiva, tem que declarar-se o processador através da diretiva PROCESSOR.

Exemplo:

__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & PWRTE_ON & _XT_OSC

Diretivas similares: __IDLOCS, PROCESSOR

4.22 PROCESSOR Definindo o modelo de microcontrolador

Sintaxe:

processor <tipo_de_microcontrolador>

Descrição:

Esta diretiva, estabelece o tipo de microcontrolador em que o programa vai correr.

Exemplo:

processor 16f84

Operadores aritméticos de assembler

Operador	Descrição	Exemplo
\$	Valor actual do contador de programa	goto \$ + 3
(Parêntesis esquerdo	1 + (d * 4)
)	Parêntesis direito	(Length + 1) * 256
!	NOT (complemento lógico)	if ! (a - b)
-	Complemento	flags = -flags
-	Negação (complemento p/ 2)	-1 * Length
high	Return o byte mais alto	movlw high CTR_Table
low	Return o byte - significativo	movlw low CTR_Table
*	Multiplicação	a = b * c
/	Divisão	a = b / c
%	Módulo	entry_len = tot_len % 16
+	Adição	tot_len = entry_len * 8 + 1
-	Subtracção	entry_len = (tot - 1) / 8
<<	Deslocamento p/ a esquerda	val = flags << 1
>>	Deslocamento p/ a direita	val = flags >> 1
>=	Maior ou igual	if entry_idx >= num_entries
>	Maior que	if entry_idx > num_entries
<	Menor que	if entry_idx < num_entries
<=	Menor que ou igual	if entry_idx <= num_entries
==	Igual	if entry_idx == num_entries
!=	Não igual	if entry_idx != num_entries
&	'E' bit a bit	flags = flags & ERROR_BIT
^	OU exclusivo bit a bit	flags = flags ^ ERROR_BIT
	OU bit a bit	flags = flags ERROR_BIT
&&	'E' lógico	if (len == 512) && (b == c)
	'OU' lógico	if (len == 512) (b == c)
=	Igual a	entry_index = 0
+=	Somar e igualar	entry_index += 1
-=	Subtrair e igualar	entry_index -= 1
*=	Multiplicar e igualar	entry_index *= entry_length
/=	Dividir e igualar	entry_total /= entry_length
%=	Igualar ao módulo	entry_index %= 8
<<=	Mover p/ esquerda e igual	flags <<= 3
>>=	Mover p/ direita e igual	flags >>= 3
&=	'E' lógico e igual	flags &= ERROR_FLAG
=	'OU' bit a bit e igual	flags = ERROR_FLAG
^=	OU exclusivo bit a bit e igual	flags ^= ERROR_FLAG
++	Incrementar uma unidade	i ++
--	Decrementar uma unidade	i --

Ficheiros criados ao compilar um programa

Os ficheiros resultantes da tradução de um programa escrito em linguagem assembly são os seguintes:

- Ficheiro de execução (nome_do_programa.hex)
- Ficheiro de erros no programa (nome_do_programa.err)
- Ficheiro de listagem (nome_do_programa.lst)

O primeiro ficheiro contém o programa traduzido e que vai ser introduzido no microcontrolador quando este é programado. O conteúdo deste ficheiro não dá grande informação ao programador, por isso, não o iremos mais abordar.

O segundo ficheiro contém erros possíveis que foram cometidos no processo de escrita e que foram notificados pelo assembler durante a tradução. Estes erros também são mencionados no ficheiro de listagem "lst". No entanto é preferível utilizar este ficheiro de erros "err", em casos em que o ficheiro "lst" é muito grande e, portanto, difícil de consultar.

O terceiro ficheiro é o mais útil para o programador. Contém muita informação tal como o posicionamento das instruções e variáveis na memória e a sinalização dos erros.

A seguir, apresenta-se o ficheiro 'lst' do programa deste capítulo. No início de cada página, encontra-se informação acerca do nome do ficheiro, data em que foi criado e número de página. A primeira coluna, contém o endereço da memória de programa, onde a instrução mencionada nessa linha, é colocada. A segunda coluna, contém os valores de quaisquer símbolos definidos com as diretivas: SET, EQU, VARIABLE, CONSTANT ou CBLOCK. A terceira coluna, tem, o código da instrução que o PIC irá executar. A quarta coluna contém instruções assembler e comentários do programador. Possíveis erros são mencionados entre as linhas, a seguir à linha em que o erro ocorreu.



```

LOC OBJECT CODE      LINE SOURCE TEXT
VALUE
                                00001 ;programa p/ inicação do portoB e pôr os seus pinos
                                00002 ;no estado lógico '1'
                                00003 ;Version: 1.0 Date: 10.05.2000.      MCU: PIC16F84  Written
                                00004 ;by: Petar Petrovic
                                00005
                                00006 ;Declaração e configuração do processador
                                00007 PROCESSOR 16F84      ;Tipo de processador
                                00008 #include "p16f84.inc" ;Cabeçalho do processador
                                00001 LIST
                                00002 ;P16F84.INC Standard Header File, Version 2.00 Microchip
                                ;Technology, Inc.
                                00136 LIST
                                00009
2007 3FF1             00010 __CONFIG      _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
                                00011
000C                 00012 CONSTANT BASE = 0x0c
                                00013
                                00014 ;Início do programa
0000                 00015 org 0x00      ;Vector de reset
0000 2805             00016 goto Main    ;Ir p/ o início do programa Main
                                00017
                                00018 ;
0004                 00019 org 0x04      ;Vector de interrupção
0004 2805             00020 goto Main    ;Não há rotina de interrupção
                                00021
                                00022 ;Início do programa main
                                00023 #include "Bank.inc" ; Incluir ficheiro com macros
                                00001 ;*****
                                00002 ;
                                00003 ;*****
                                00004
0000 0010             00005 W_Temp      set    BASE+4
0000 0011             00006 Stat_Temp   set    BASE+5
0000 0012             00007 Option_Temp set    BASE+6
                                00008
                                00009
                                00010 BANK0      macro
                                00011 bcf STATUS,RPO ; Seleccionar o banco 0 de memória
                                00012 endm
                                00013
                                00014 BANK1      macro
                                00015 bsf STATUS,RPO ; Seleccionar o banco 1 de memória
                                00016 endm
                                00017
0005                 00024 Main
                                00025 BANK1      ; Seleccionar o banco 1 de memória
0005 1683             M      bsf STATUS,RPO ; Seleccionar o banco 1 de memória
0006 3000             00026 movlw 0x00
Message[302]: Register in operand not in bank 0. Ensure that bank bits are
correct.
0007 0086             00027 movwf TRISB ; Pinos do porto B de saída
                                00028
                                00029 BANK0      ;Seleccionar banco 0 de memória
0008 1283             M      bcf STATUS,RPO ;Seleccionar banco 0 de memória
0009 30FF             00030 movlw 0xFF
000A 0086             00031 movwf PORTE ;Tudo a '1' lógico no porto B
                                00032
000B 280B             00033 Loop goto Loop ;o programa permanece no loop
                                00034
                                00035 END      ;Para assinalar o fim do programa

```

```

MEMORY USAGE MAP ('X' = Used, '-' = Unused)

0000 : X---XXXXXXXX-----
2000 : -----X-----

```

```

All other memory blocks unused.

Program Memory Words Used:    9
Program Memory Words Free:   1015

Errors:      0
Warnings:    0 reported,      0 suppressed
Messages:    1 reported,      0 suppressed

```

No fim do ficheiro de listagem, é apresentada uma tabela dos símbolos usados no programa. Uma característica útil do ficheiro 'list' é a apresentação de um mapa da memória utilizada. Mesmo no fim, existe uma estatística dos erros, bem como a indicação da memória de programa utilizada e da disponível.

Macros

As macros são elementos muito úteis em linguagem assembly. Uma macro pode ser descrita em poucas palavras como "um grupo de instruções definido pelo utilizador que é acrescentado ao programa pelo assembler, sempre que a macro for invocada". É possível escrever um programa sem usar macros. Mas, se as utilizarmos, o programa torna-se muito mais legível, especialmente se estiverem vários programadores a trabalhar no mesmo programa. As macros têm afinidades com as funções nas linguagens de alto nível.

Como as escrever:

```
<rótulo> macro  
[<argumento1>,<argumento2>,...,<argumentoN>]  
.....  
.....  
endm
```

Pelo modo como são escritas, vemos que as macros podem aceitar argumentos, o que também é muito útil em programação.

Quando o argumento é invocado no interior de uma macro, ele vai ser substituído pelo valor <argumentoN>.

Exemplo:

```
ON_PORTB      macro ARG1  
BANK0          ;Seleccionar banco 0 de memória  
movlw ARG1    ;valor do argumento ARG1  
               ;guardado no registo de trabalho  
movwf PORTB   ;valor do argumento ARG1  
               ;guardado no Porto B  
endm          ;fim de macro
```

O exemplo de cima, mostra uma macro cujo propósito é enviar para o porto B, o argumento ARG1, definido quando a macro foi invocada. Para a utilizarmos num programa, basta escrever uma única linha: ON_PORTB 0xFF e, assim, colocamos o valor 0xFF no porto B. Para utilizar uma macro no programa, é necessário incluir o ficheiro macro no programa principal, por intermédio da instrução #include "nome_da_macro.inc". O conteúdo da macro é automaticamente copiado para o local em que esta macro está escrita. Isto pode ver-se melhor no ficheiro 'lst' visto atrás, onde a macro é copiada por baixo da linha #include "bank.inc".

CAPÍTULO 6

Exemplos

Introdução

Os exemplos que se mostram neste capítulo, exemplificam como se deve ligar o microcontrolador PIC a periféricos ou a outros dispositivos quando projetamos o nosso próprio sistema de microcontrolador. Cada exemplo contém uma descrição detalhada do hardware com o esquema elétrico e comentários acerca do programa. Todos os programas podem ser copiados da página da Internet da 'MikroElektronika'.

6.1 Alimentando o microcontrolador

De um modo geral, uma tensão de alimentação carreta é da maior importância para o bom funcionamento do sistema de microcontrolador. Pode comparar-se este sistema a um homem que precisa respirar. É provável que um homem que respire ar puro viva mais tempo que um que viva num ambiente poluído.

Para que um microcontrolador funcione convenientemente, é necessário usar uma fonte de alimentação estável, uma função de 'reset ao ligar' fiável e um oscilador. De acordo com as especificações técnicas fornecidas pelo fabricante do microcontrolador PIC, em todas as versões, a tensão de alimentação deve estar compreendida entre 2,0V e 6,0V. A solução mais simples para a fonte de alimentação é utilizar um regulador de tensão LM7805 que fornece, na sua saída, uma tensão estável de +5V. Uma fonte com estas características, mostra-se na figura em baixo.

Para que o circuito funcione corretamente, de modo a obter-se 5V estáveis na saída (pino 3), a tensão de entrada no pino 1 do LM7805 deve situar-se entre 7V e 24V. Dependendo do consumo do dispositivo, assim devemos usar o tipo de regulador LM7805 apropriado. Existem várias versões do LM7805. Para um consumo de corrente até 1A, deve usar-se a versão TO-220, com um dissipador de calor apropriado. Se o consumo for somente de 50mA, pode usar-se o 78L05 (regulador com empacotamento TO92 de menores dimensões para correntes até 100mA).

6.2 Utilização de macros em programas

Os exemplos que se apresentam nas secções seguintes deste capítulo, vão utilizar frequentemente as macros WAIT, WAITX e PRINT, por isso elas vão ser explicadas com detalhe.

Macros WAIT, WAITX

O ficheiro Wait.inc contém duas macros WAIT e WAITX. Através destas macros é possível conseguir diferentes intervalos de tempo. Ambas as macros usam o preenchimento do contador TMR0 como intervalo de tempo básico. Modificando o valor do prescaler, nós podemos variar o intervalo de tempo correspondente ao enchimento do contador TMR0.



```

;*****Declaração de constantes*****
        CONSTANT PRESCstd = b'00000001' ;Prescaler standard para TMR0

;***** Macros *****

WAIT    macro timeconst_1

        movlw   timeconst_1
        call   WAITstd
        endm

WAITX   macro timeconst_2, PRESCext

        movlw   timeconst_2
        movwf   WCYCLE           ; Definir espaço de tempo
        movlw   PRESCext        ; Definir valor do prescaler
        call   WAIT_x
        endm

;*****Subprogramas*****

WAITstd
        movwf   WCYCLE           ; Definir espaço de tempo
        movlw   PRESCstd        ; Definir valor do prescaler

WAIT_x
        clrf   TMR0
        BANK1
        movwf  OPTION_REG       ; Atribuir prescaler a TMR0
        BANK0

WAITa
        bcf    INTCON,TDIF       ; pôr a '0' a flag de transbordo de TMR0

WAITb
        btfss INTCON,TDIF       ; verificar se flag de transbordo igual a '0'
        goto   WAITb            ; continuar a esperar
        decfsz WCYCLE,1         ; repetir, se esta variável não for zero
        goto   WAITa
        RETURN

```

Se usarmos um oscilador (ressonador) de 4MHz e para valores do prescaler de 0, 1 e 7 a dividir o clock básico do oscilador, os intervalos de tempo causados por transbordo do temporizador TMR0, serão nestes três casos de respectivamente 0,512mS, 1,02mS e 65,3mS. Na prática isso significa que o maior intervalo de tempo possível será de $256 \times 65,3\text{mS} = 16,72$ segundos.

Prescaler	Divisor	Enchimento
b'00000000'	1:2	0.512 ms
b'00000001'	1:4	1.02 ms
b'00000111'	1:256	65.3 ms

Para se poderem usar macros no programa principal, é necessário declarar as variáveis wcycle e prescWAIT, como é feito nos exemplos que se seguem neste capítulo.

A Macro WAIT tem um argumento. O valor standard atribuído ao prescaler nesta macro é 1 (1,02mS) e não pode ser alterado.

```
WAIT timeconst_1
```

timeconst_1 é um número de 0 a 255. Multiplicando esse número pelo tempo de enchimento, obtemos o tempo total: $\text{TEMPO} = \text{timeconst_1} \times 1,02\text{mS}$.

Exemplo: WAIT .100

O exemplo mostra como gerar um atraso de $100 \times 1,02\text{mS}$ no total de 102mS.

Ao contrário da macro WAIT, a macro WAITX tem mais um argumento que serve para atribuir um valor ao prescaler. Os dois argumentos da macro WAITX são :

Timeconst_2 é um número entre 0 e 255. Multiplicando esse número pelo tempo de enchimento, obtemos o tempo total:

TIME=timeconst_1 x 1,02mS x PRESCext

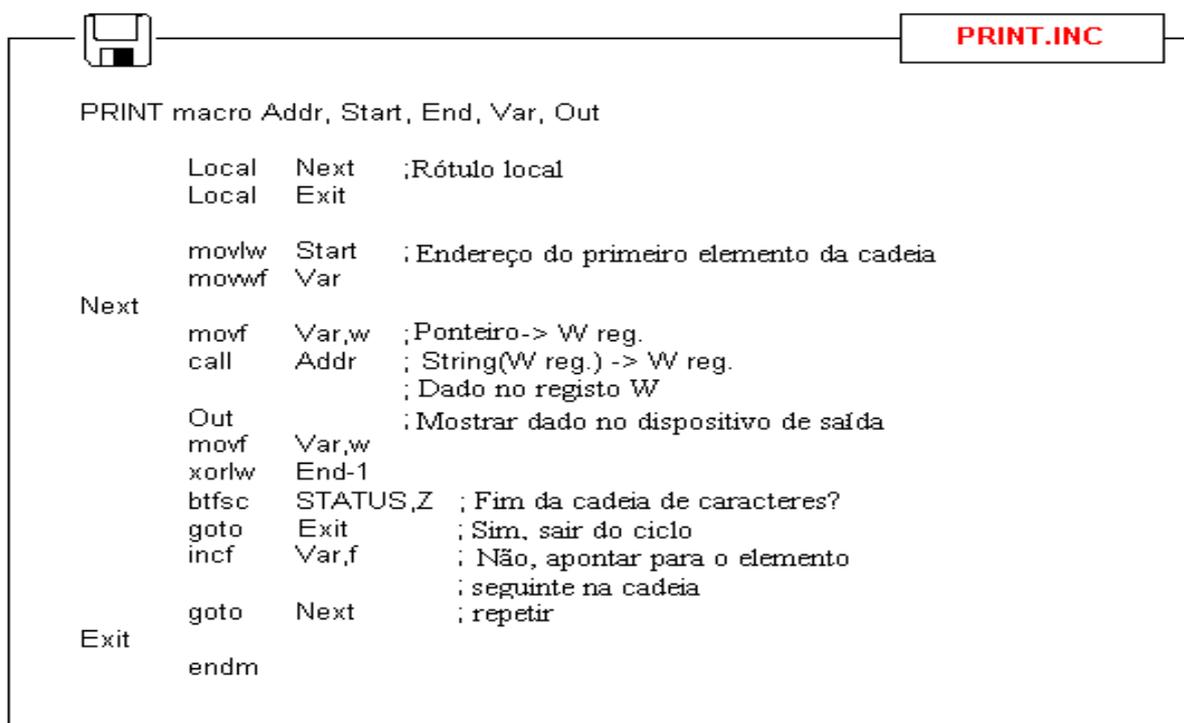
PRESCext é um número entre 0 e 7 que estabelece a relação entre o clock e o temporizador TMRO.

Exemplo: WAITX .100, 7

O exemplo mostra como gerar um intervalo de tempo de 100x65,3 mS, ou seja, de 6,53S.

MACRO PRINT

A Macro PRINT encontra-se no ficheiro Print.inc. Esta macro facilita o envio de uma série de dados ou caracteres para dispositivos de saída tais como: display LCD, RS232, impressora matricial, ...,etc. A melhor maneira de formar a série, é usar uma diretiva dt (definir tabela). Esta instrução guarda uma série de dados na memória de programa, na forma de um grupo de instruções retlw cujos operandos são os caracteres da cadeia de caracteres.



O modo como uma seqüência é formada usando uma instrução dt, mostra-se no seguinte exemplo:

```

org    0x00
goto   Main

String movwf PCL
String1 dt "esta é a cadeia 'ASCII'"
String2 dt "Segunda série"

End

Main
    movlw .5
    call  String
    
```

A primeira instrução depois do rótulo Main, escreve a posição de um membro da cadeia (string) no registo w. A seguir, com a instrução call saltamos para o rótulo string, onde a posição de um

membro da seqüência é adicionada ao valor do contador de programa: $PCL=PCL+W$. A seguir, teremos no contador de programa um endereço da instrução `retlw` com o membro da cadeia desejado. Quando esta instrução é executada, o membro da cadeia vai ficar no registro `w` e o endereço da instrução a executar depois da instrução `call` estará guardado no contador de programa. O rótulo `END` é um módulo elegante de marcar o endereço em que a cadeia termina.

A Macro `PRINT` possui cinco argumentos:

`PRINT` macro `Addr`, `Start`, `End`, `Var`, `Out`

Addr é um endereço onde uma ou mais cadeias (que se seguem uma após outra) começam.

Start é o endereço do primeiro caracter da cadeia.

End é o endereço em que a cadeia termina

Var é a variável que tem o papel de mostrar (apontar) os membros da cadeia

Out é um argumento que usamos para enviar o endereço do subprograma que trabalha com os dispositivos de saída, tais como: `LCD`, `RS-232` etc.

```
Exemplo:      org      0x00
                goto     Main

                Series  movwf PCL
                Message dt "mikroElektronika"
                End

Main
                PRINT Series, Message, End, Pointer, LCDw
                :
```

A macro `PRINT` escreve uma série de caracteres ASCII, correspondentes a 'MikroElektronika' no display `LCD`. A cadeia ocupa uma parte da memória de programa a começar no endereço `0x03`.

6.3 Exemplos

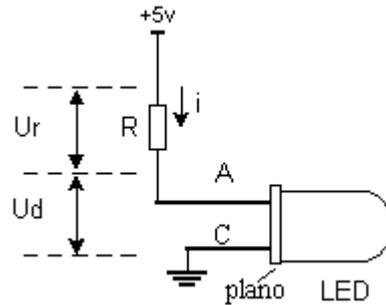
Diodos Emissores de Luz - LEDs

Os LEDs são seguramente uns dos componentes mais usados em eletrônicas. LED é uma abreviatura para 'Light Emitting Diode' (Diodo emissor de luz). Quando se escolhe um LED, vários parâmetros devem ter-se em atenção: diâmetro, que é usualmente de 3 ou 5mm (milímetros), corrente de funcionamento, habitualmente de cerca de 10mA (pode ser menor que 2mA para LEDs de alta eficiência – alta luminosidade) e, claro, a cor que pode ser essencialmente vermelha ou verde, embora também existam amarelos, laranjas, azuis, etc.

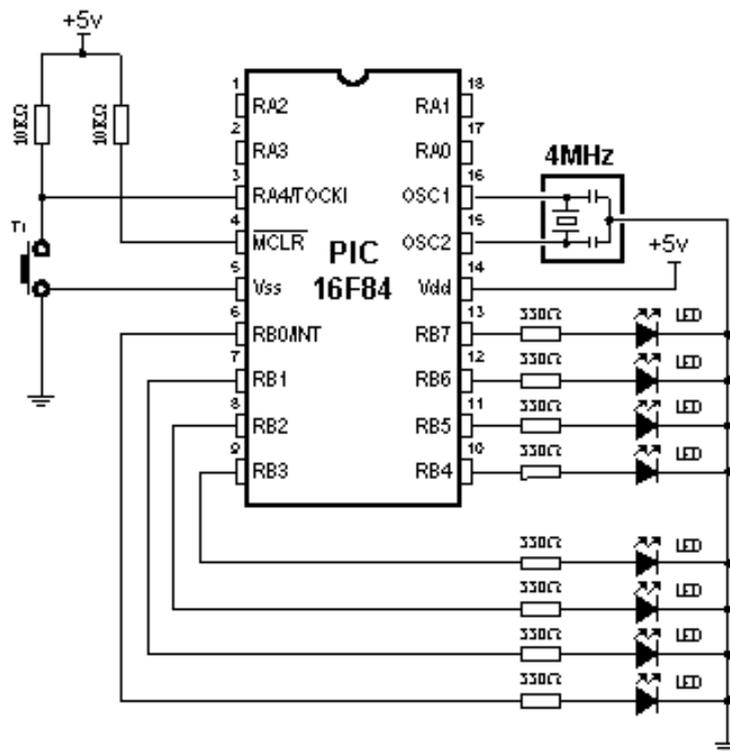
Os LEDs, para emitirem luz, têm que ser ligados com a polaridade correta e a resistência de limitação de corrente tem também que ter o valor correto para que o LED não se estrague por sobreaquecimento. O pólo positivo da alimentação deve estar do lado do ânodo e o negativo do lado do cátodo. Para identificar os terminais do led, podemos ter em atenção que, normalmente, o terminal do cátodo é mais curto e, junto deste, a base do LED é plana. Os LEDs só emitem luz se a corrente flui do ânodo para o cátodo. Se for ao contrário, a junção PN fica polarizada inversamente e, a corrente, não passa. Para que o LED funcione corretamente, deve ser adicionada uma resistência em série com este, que vai limitar a corrente através do LED, evitando que este se queime. O valor desta resistência é determinado pelo valor da corrente que se quer que passe através do LED. A corrente máxima que pode atravessar um LED está estabelecida pelo fabricante. Os LEDs de alto rendimento podem produzir uma saída muito satisfatória com uma corrente de 2mA.

Para determinar o valor da resistência em série, nós necessitamos de saber o valor da alimentação. A este valor vamos subtrair a queda de tensão característica no LED. Este valor pode variar entre 1,2v e 1,6v, dependendo da cor do LED. O resultado desta subtração é a queda de

tensão na resistência U_r . Sabendo esta tensão e a corrente, determinamos o valor da resistência usando a fórmula $R=U_r/I$.



Os LEDs podem ser ligados ao microcontrolador de duas maneiras. Uma é fazê-los acender com o nível lógico zero e a outra com o nível lógico um. O primeiro método é designado por lógica NEGATIVA e o outro por lógica POSITIVA. O diagrama de cima, mostra como se faz a ligação utilizando lógica POSITIVA. Como em lógica POSITIVA se aplica uma voltagem de +5V ao diodo em série com a resistência, ele vai emitir luz sempre que o pino do porto B forneça um valor lógico 1 (1 = saída Alta). A lógica NEGATIVA requer que o LED fique com o ânodo ligado ao terminal positivo da alimentação e o cátodo ligado ao pino porto B, através da resistência. Neste caso, quando uma saída Baixa do microcontrolador é aplicada à resistência em série com o LED, este acende.



Ligação dos diodos LED ao Porto B do microcontrolador

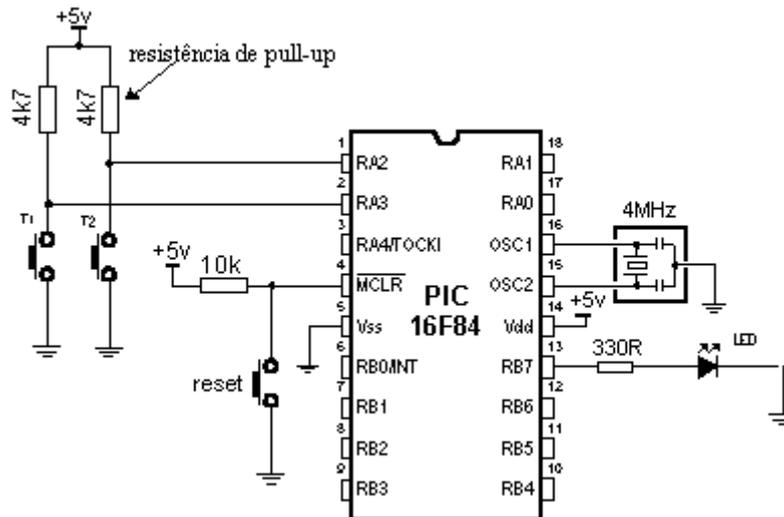
O exemplo que se segue, define o porto B como de saída e põe a nível lógico um todos os pinos deste porto, acendendo os LEDs.



```
;***** Declarar e configurar o microcontrolador *****  
  
PROCESSOR 16F84  
#include "p16f84.inc"  
  
    __CONFIG    _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC  
  
;***** Declarar variáveis *****  
  
    Cblock 0x0C          ; Princípio da RAM  
    WCYCLE              ; Pertence à macro 'WAITX'  
    PRESCwait  
    endc  
  
;*****Estrutura da memória de programa*****  
  
    ORG    0x00          ; Vector de reset  
    goto  Main  
  
    ORG    0x04          ; Vector de interrupção  
    goto  Main          ; Sem rotina de interrupção  
  
    #include "bank.inc" ; Ficheiros auxiliares  
  
Main                                ; Início do programa  
  
    BANK1  
    movlw 0xff           ; Iniciação do Porto A  
    movwf TRISA          ; TRISA <- 0xff tudo entradas  
    movlw 0x00          ; Iniciação do Porto B  
    movwf TRISB          ; TRISB <- 0x00  
                                ; Porto B, tudo saídas  
  
    BANK0  
  
    movlw 0xff  
    movwf PORTB          ; acender todos os leds  
  
Loop  
    goto  Loop          ; Repetir Loop  
  
End                                ; Fim de programa
```

Teclado

As teclas de um teclado, são dispositivos mecânicos usados para desfazer ou estabelecer as ligações entre pares de pontos. As teclas podem aparecer com vários tamanhos e satisfazer vários propósitos. As teclas ou interruptores que vamos usar são também designadas por "teclas-dip". Elas são muito usadas em eletrônicas e são soldadas diretamente na placa de circuito impresso. Possuem quatro pinos (dois para cada contacto), o que lhes confere uma boa estabilidade mecânica.



Exemplo de ligação de teclas, aos pinos do microcontrolador

O modo como funcionam é simples. Quando pressionamos uma tecla, os dois contactos são curto-circuitados e é estabelecida uma ligação. No entanto, isto não é tão simples como parece. O problema reside no fato de a tensão ser uma grandeza elétrica e na imperfeição dos contactos mecânicos. Quer dizer, antes que o contacto se estabeleça ou seja interrompido, há um curto período de tempo em que pode ocorrer uma vibração (oscilação) como resultado do desajuste dos contactos, ou da velocidade diferente de acionamento das teclas (que depende da pessoa que usa o teclado). O termo associado a este fenômeno é designado por BOUNCE (ressalto) do interruptor. Se não o considerarmos quando estivermos a escrever o programa, pode ocorrer um erro, ou seja, o programa pode detectar vários impulsos apesar de a tecla ter sido pressionada uma única vez. Para evitar isto, um método é introduzir um curto período de espera quando se detecta que um contacto é fechado. Isto assegura que a uma única pressão de tecla, corresponde um único impulso. O tempo de espera (tempo de DEBOUNCING), é produzido por software e o seu valor depende da qualidade da tecla e do serviço que está a efetuar. Este problema pode ser parcialmente resolvido por exemplo, colocando um condensador entre os contactos da tecla, mas, um programa bem feito resolve melhor o problema. Ao escrever este programa vai-se fazendo variar o tempo de debouncing até se verificar que a hipótese de uma detecção fica completamente eliminada.

Nalguns casos, uma simples espera pode ser adequada, mas, se quisermos que o programa execute várias tarefas ao mesmo tempo, uma espera significa, que o microcontrolador "não faz mais nada" durante um longo período de tempo, podendo falhar outras entradas ou, por exemplo, não ativar um display no momento adequado.

A melhor solução é ter um programa que detecte quando se pressiona e em seguida se liberta a tecla. A macro em baixo, pode ser usada para fazer o 'debouncing' de uma tecla.



```
Button macro HiLo, Port, Bit, Delay, Address

    Local Exit ; Rótulos locais
    Local Loop

    if HiLo == 0 ; Tecla premida ?
    btfsc Port, Bit ; Linha de entrada baixa?
    else
    btfss Port, Bit ; Linha de entrada alta?
    endif
    goto Exit ; Se tecla não premida, sair da macro

    Loop
    WAIT Delay ; Esperar que a tecla estabilize

    if HiLo == 0
    btfss Port, Bit ; Tecla libertada ?
    else
    btfsc Port, Bit
    endif
    goto Loop

    WAIT Delay ; Tempo p/ estabilizar a tecla

    Exit
    call Address ; Chamar subprograma de atendimento
    ; Saída da macro
    endm ; Fim da macro
```

A macro de cima tem vários argumentos que necessitam de serem explicados:

BUTTON macro HiLo, Port, Bit, Delay, Address

HiLo pode ser '0' ou '1' e representa o impulso, descendente ou ascendente produzido quando se pressiona uma tecla e que faz com que o subprograma seja executado.

Port é o porto do microcontrolador ao qual a tecla está ligada. No caso do PIC16F84 só pode ser o Porto A ou o Porto B.

Bit é a linha do porto à qual a tecla está ligada.

Delay é um número entre 0 e 255, usado para obter o tempo necessário para que as oscilações nos contactos parem. É calculado pela fórmula $TEMPO = Delay \times 1ms$.

Address é o endereço para onde o microcontrolador vai depois de a tecla premida, ter sido solta. A sub-rotina situada neste endereço contém a resposta a este movimento.

Exemplo 1: BUTTON 0, PORTA, 3, .100, Tester1_above

Chave1 está ligada a RA3 (bit 3 do porto A), usa um tempo de 'debouncing' de 100 milissegundos e zero é o nível lógico ativo. O subprograma que processa o movimento desta tecla encontra-se a partir do endereço com o rótulo Tester1_above.

Exemplo2: BUTTON 1, PORTA, 2, .200, Tester2_below

Chave-2 está ligada a RA2 (bit 2 do porto A), usa um tempo de 'debouncing' de 200 milissegundos e '1' é o nível lógico ativo. O subprograma que processa o movimento desta tecla encontra-se a partir do endereço com o rótulo Tester2_below.

O exemplo que se segue, mostra como se usa esta macro num programa. O programa TESTER.ASM acende e apaga um LED. O LED está ligado ao bit 7 do porto B. A tecla 1 é usada para acender o LED. A tecla 2 apaga o LED.



```
*****Escolher e configurar um microcontrolador*****  
  
PROCESSOR 16F84  
#include "p16f84.inc"  
  
    __CONFIG __CP_OFF & __WDT_OFF & __PWRTE_ON & __XT_OSC  
  
***** Declarar variáveis *****  
  
Cblock 0x0C                ; Início da RAM  
WCYCLE                    ; Pertence à macro 'WAITX'  
PRESCwait  
endc  
  
***** Estrutura da memória de programa *****  
  
ORG 0x00                  ; Vector de reset  
goto Main  
  
ORG 0x04                  ; Vector de interrupção  
goto Main                 ; Não há rotina de interrupção  
  
#include "bank.inc"      ; Ficheiros auxiliares  
#include "button.inc"  
#include "wait.inc"  
  
Main                      ; Início do programa  
BANK1  
movlw 0xff                ; Iniciação do Porto A  
mowwf TRISA              ; TRISA <- 0xff  
movlw 0x00               ; Iniciação do Porto B  
mowwf TRISB              ; TRISB <- 0x00  
BANK0  
  
clrf PORTB               ; Porto B <- 0x00  
  
Loop  
Button 0, PORTA, 3, .100, On ; Tecla 1  
Button 0, PORTA, 2, .100, Off ; Tecla 2  
goto Loop  
  
On  
bsf PORTB,7              ; Acender LED  
return  
  
Off  
bcf PORTB,7              ; Apagar LED  
return  
  
End                       ; Fim de programa
```

Optoacopladores

Os optoacopladores incluem um LED e um fototransistor juntos no mesmo encapsulamento. O propósito do optoacoplador é manter duas partes do circuito isoladas entre si.

Isto é feito por um certo número de razões:

Interferência. Uma parte do circuito pode estar colocada num sítio onde pode captar um bocado de interferência (de motores elétricos, equipamento de soldadura, motores a gasolina, etc.). Se a saída deste circuito estiver ligada através de um optoacoplador a um outro circuito, somente os sinais desejados passam pelo optoacoplador. Os sinais de interferência não têm “força” suficiente para ativar o LED do optoacoplador e assim são eliminados. Exemplos típicos

são unidades industriais com muitas interferências que afetam os sinais nas linhas. Se estas interferências afetarem o funcionamento da secção de controle, podem ocorrer erros e a unidade parar de trabalhar.

Isolamento e amplificação de um sinal em simultâneo. Um sinal de amplitude baixa, por exemplo de 3V, é capaz de ativar um optoacoplador e a saída do optoacoplador pode ser ligada a uma linha de entrada do microcontrolador. O microcontrolador requer uma entrada de 5v e, neste caso, o sinal é amplificado de 3v para 5v. Pode também ser utilizado para amplificar um sinal de corrente. Ver em baixo como se pode usar uma linha de saída de um microcontrolador para amplificar a corrente.

Tensão de isolamento elevada. Os optoacopladores possuem intrinsecamente uma grande tensão de isolamento. Como o LED está completamente separado do fototransistor, os optoacopladores podem exibir uma tensão de isolamento de 3kv ou superior.

Os optoacopladores podem ser usados como dispositivos de entrada e de saída. Alguns, fornecem funções adicionais tais como Schmitt trigger (a saída de um Schmitt trigger é 0 ou 1 – ele transforma sinais descendentes ou ascendentes de baixo declive em sinais zero ou um bem definidos). Os optoacopladores são empacotados numa única unidade, ou em grupos de dois ou mais num único encapsulamento. Eles podem também servir como fotointerruptores, uma roda com ranhuras gira entre o LED e o fototransistor, sempre que a luz emitida pelo LED é interrompida, o transistor produz um impulso.

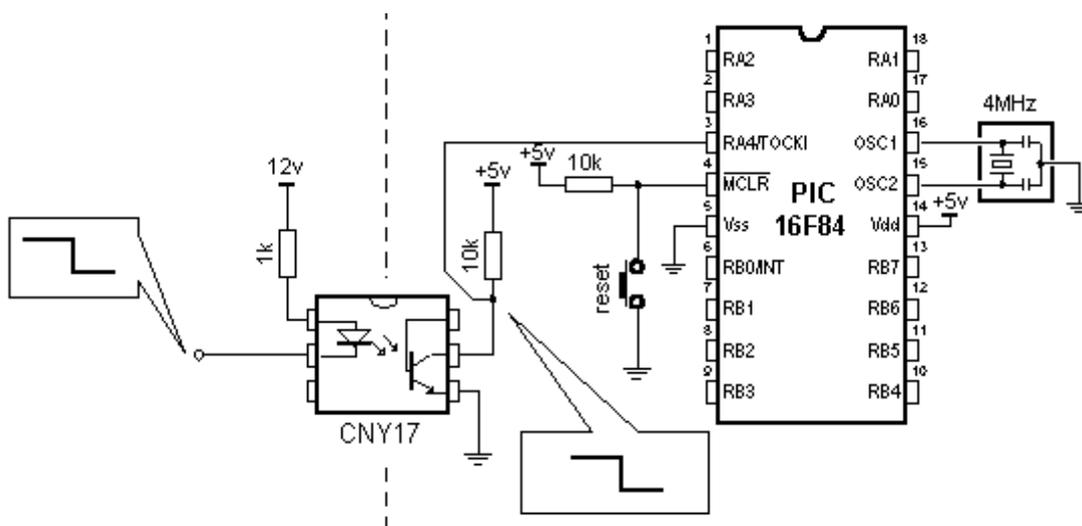
Cada optoacoplador necessita de duas alimentações para funcionar. Ele pode ser usado só com uma alimentação mas, neste caso, a capacidade de isolamento perde-se.

Optoacoplador numa linha de entrada

O modo como trabalha é simples: quando o sinal chega, o LED do optoacoplador conduz e ilumina o fototransistor que está na mesma cápsula. Quando o transistor começa a conduzir, a tensão entre o coletor e o emissor cai para 0,5V ou menos o que o microcontrolador interpreta como nível lógico zero no pino RA4.

O exemplo em baixo, é aplicável em casos como um contador usado para contar itens numa linha de produção, determinar a velocidade do motor, contar o número de rotações de um eixo, etc.

Vamos supor que o sensor é um microinterruptor. Cada vez que o interruptor é fechado, o LED é iluminado. O LED 'transfere' o sinal para o fototransistor fazendo este conduzir, assim é produzido um sinal BAIXO na entrada RA4 do microcontrolador. No microcontrolador deve existir um programa que evite uma falsa contagem e um indicador ligado às saídas do microcontrolador, que mostre o estado atual da contagem.



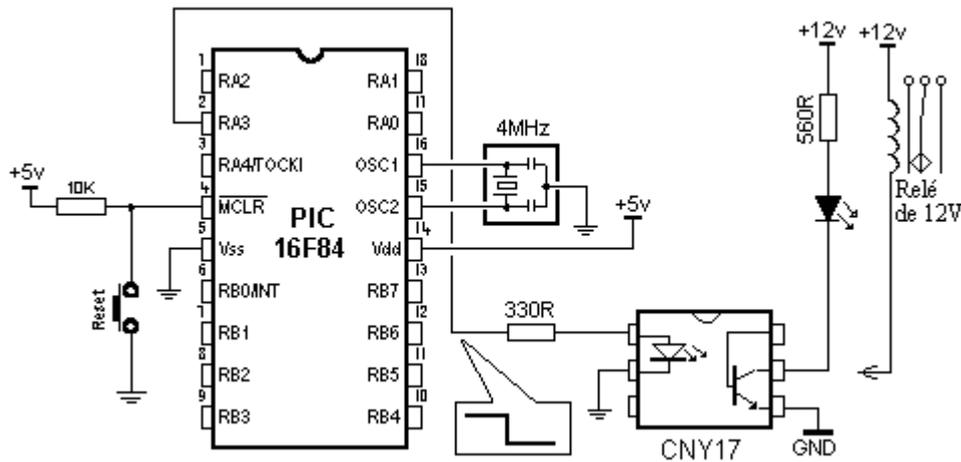
Exemplo de um optoacoplador ligado a uma linha de entrada



```
;***** Escolhendo e configurando o microcontrolador *****  
  
PROCESSOR 16f84  
#include "p16f84.inc"  
  
    __CONFIG_CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC  
  
;***** Estrutura da memória de programa *****  
  
    ORG    0x00          ; Vector de reset  
    goto  Main  
  
    ORG    0x04          ; Vector de interrupção  
    goto  Main          ; Sem rotina de interrupção  
  
    #include "bank.inc" ; Ficheiro auxiliar  
  
Main  
    BANK1  
    movlw 0xff          ; Iniciação do Porto A  
    movwf TRISA         ; TRISA <- 0xff (entradas)  
    movlw 0x00          ; Iniciação do Porto B  
    movwf TRISB         ; TRISB <- 0x00 (saídas)  
    movlw b'00110000'   ; RA4 -> TMR0,  
    movwf OPTION_REG    ; Incrementar TMR0 no bordo descendente  
    BANK0  
  
    clrf  PORTB         ; Porto B <- 0  
    clrf  TMR0         ; TMR0 <- 0  
  
Loop  
  
    movf  TMR0,w        ; Copiar TMR0 para reg. W  
    movwf PORTB         ; Reg. W para o Porto B  
    goto Loop          ; Repetir o Loop  
  
End          ; Fim do programa
```

Optoacoplador numa linha de saída

Um optoacoplador pode ser usado para separar o sinal de saída de um microcontrolador de um dispositivo de saída. Isto pode ser necessário para isolar o circuito de uma tensão alta ou para amplificar a corrente. A saída de alguns microcontroladores está limitada a 25mA. O optoacoplador pode servir-se do sinal de corrente do microcontrolador para alimentar um LED ou relé, como se mostra a seguir:



Exemplo de um optoacoplador ligado a uma linha de saída

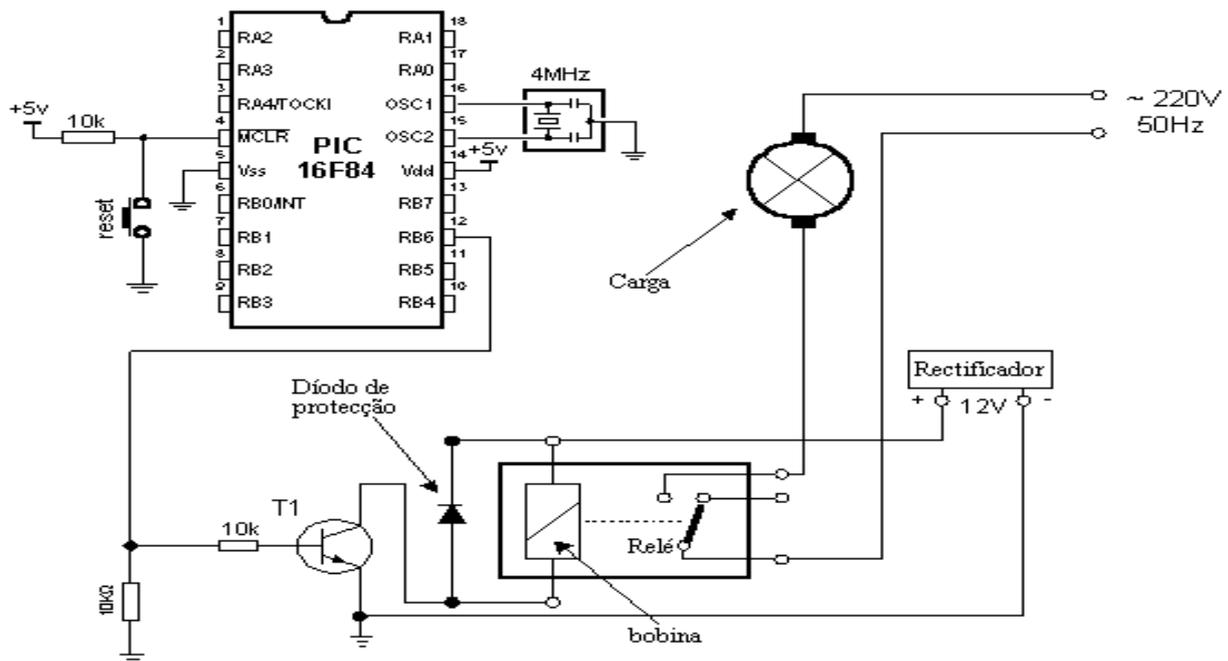
O programa para este exemplo é simples. Fornecendo um nível lógico '1' ao pino 3 do porto A, o LED vai ser ativado e o transistor do optoacoplador vai conduzir. A corrente limite para este transistor é de cerca de 250mA.

O Relé

Um relé é um dispositivo eletromecânico que transforma um sinal elétrico em movimento mecânico. É constituído por uma bobina de fio de cobre isolado, enrolado à volta de um núcleo ferromagnético e por uma armadura metálica com um ou mais contactos.

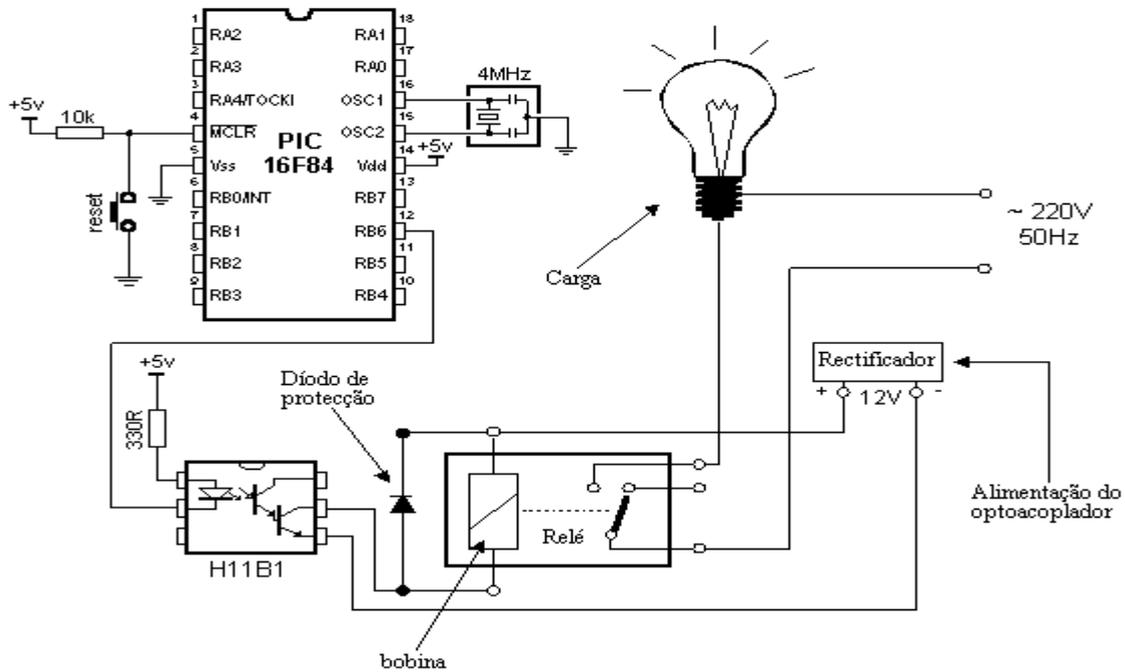
Quando a tensão de alimentação é ligada à bobina, esta vai ser atravessada por uma corrente e vai produzir um campo magnético que atrai a armadura fechando uns contactos e /ou abrindo outros.

Quando a alimentação do relé é desligada, o fluxo magnético da bobina irá desaparecer e estabelece-se uma corrente por vezes muito intensa em sentido inverso, para se opor à variação do fluxo. Esta corrente, pode danificar o transistor que está a fornecer a corrente, por isso, um diodo polarizado inversamente deve ser ligado aos terminais da bobina, para curto-circuitar a corrente de ruptura.



Ligando um relé a um microcontrolador, através de um transistor

Muitos microcontroladores não conseguem alimentar um relé diretamente e, assim, é necessário acrescentar um transistor ao circuito para obter a corrente necessária. Um nível ALTO na base do transistor, faz este conduzir, ativado o relé. O relé pode estar ligado a partir dos seus contactos a qualquer dispositivo elétricos. Uma resistência de 10k limita a corrente na base do transistor. A outra resistência de 10k entre o pino do microcontrolador e a massa, evita que um ruído na base do transistor faça atuar o relé intempestivamente. Deste modo, só um sinal bem definido proveniente do microcontrolador pode ativar o relé.



Ligando o optoacoplador e um relé a um microcontrolador

Um relé pode também ser ativado através de um optoacoplador que atua como “buffer” de corrente e ao mesmo tempo aumenta a resistência de isolamento. Estes optoacopladores capazes de fornecerem uma corrente muito grande, contêm normalmente um transistor ‘Darlington’ na saída.

A ligação através de um optoacoplador é recomendada especialmente em aplicações de microcontroladores que controlam motores, já que o ruído provocado pela atuação dos comutadores, pode regressar ao microcontrolador através das linhas da alimentação. O optoacoplador faz atuar o relé e este ativa o motor.

A figura em baixo, é um exemplo de um programa de ativação do relé e inclui algumas macros anteriormente apresentadas.



```
;***** Escolhendo e configurando o microcontrolador *****  
  
PROCESSOR 16f84  
#include "p16f84.inc"  
  
    __CONFIG __CP_OFF & __WDT_OFF & __PWRTE_ON & __XT_OSC  
  
;*****Declarando as variáveis *****  
  
    Cblock 0x0C                ; Início da RAM  
    WCYCLE                    ; Pertence à macro 'WAITX'  
    PRESCwait  
    endc  
  
;***** Definindo o hardware *****  
  
    #define RELAY PORTA,3  
  
;***** Estrutura da memória de programa *****  
  
    ORG 0x00                    ; Vector de reset  
    goto Main  
  
    ORG 0x04                    ; Vector de interrupção  
    goto Main                    ; Sem rotina de interrupção  
  
    #include "bank.inc"        ; Ficheiros auxiliares  
    #include "button.inc"  
    #include "wait.inc"  
  
Main                            ; Início do programa  
    BANK1  
    movlw 0x17                    ; Iniciação do Porto A  
    movwf TRISA                    ; TRISA <- 0x17  
    movlw 0x00                    ; Iniciação do Porto B  
    movwf TRISB                    ; TRISB <- 0x00  
    BANK0  
  
    clrf PORTB                    ; Porto B <- 0x00  
  
Loop  
    Button 0, PORTA, 0, .100, On    ; Tecla 0  
    Button 0, PORTA, 1, .100, Off   ; Tecla 1  
  
    goto Loop                    ; Repetir o Loop  
  
On  
    bsf RELAY                    ; Activar relé  
    return  
  
Off  
    bcf RELAY                    ; Relé inactivo  
    return  
  
End                            ; Fim de programa
```

Produzindo um som

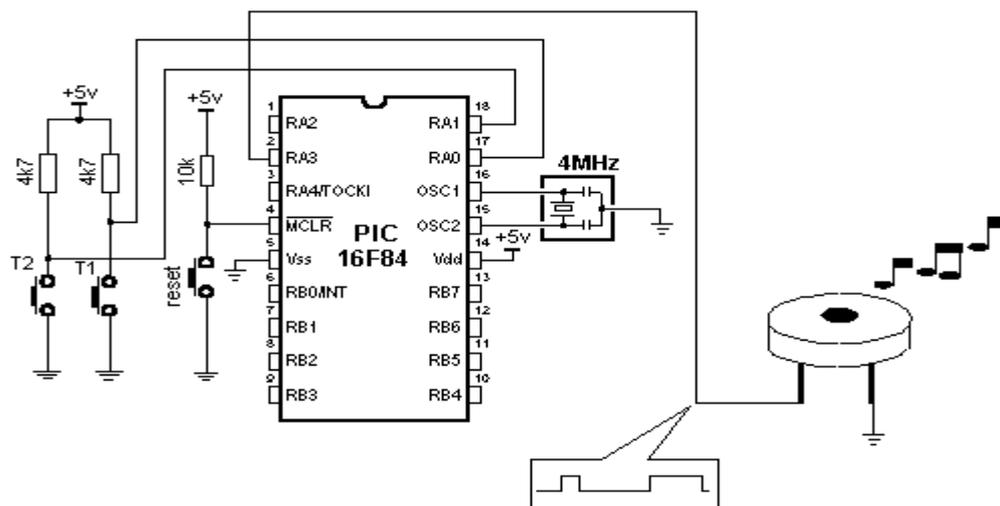
Um diafragma pizoelétrico pode ser adicionado a uma linha de saída do microcontrolador para se obterem tons, bips e sinais.

É importante saber-se que existem dois tipos de dispositivos pizo emissores de som. Um, contém componentes ativos encontram-se dentro do invólucro e só precisam de que lhe seja aplicada uma tensão contínua que emita um tom ou um bip. Geralmente os tons ou bips emitidos por estes dispositivos sonoros não podem mudar, pois são fixados pelos respectivos circuitos internos. Não é este o tipo de dispositivo que vamos discutir neste artigo.

O outro tipo requer, para que possa funcionar, que lhe seja aplicado um sinal. Dependendo da frequência da forma de onda, a saída pode ser um tom, uma melodia, um alarme ou mesmo mensagens de voz.

Para o pormos a funcionar, vamos fornecer-lhe uma forma de onda constituída por níveis Alto e Baixo sucessivos. É a mudança de nível ALTO para BAIXO ou de BAIXO para ALTO que faz com que o diafragma se mova para produzir um pequeno som característico. A forma de onda pode corresponder a uma mudança gradual (onda sinusoidal) ou uma variação rápida (onda retangular). Um computador é um instrumento ideal para produzir uma onda quadrada. Quando se utiliza a onda quadrada produz-se um som mais áspero.

Ligar um diafragma pizoelétrico é uma tarefa simples. Um pino é ligado à massa e o outro à saída do microcontrolador, como se mostra na figura em baixo. Deste modo, aplica-se uma forma de onda retangular de 5v ao pizo. Para produzir um alto nível de saída, a forma de onda aplicada tem que ter uma maior grandeza, o que requer um transistor e uma bobina.



Ligação de um diafragma pizoelétrico a um microcontrolador

Como no caso de uma tecla, podemos utilizar uma macro que forneça uma ROTINA BEEP ao programa, quando for necessário.

BEEP macro freq, duration:

freq: frequência do som. Um número maior produz uma frequência mais alta.

duration: duração do som. Quanto maior o número, mais longo é o som.

Exemplo 1: BEEP 0xFF, 0x02

Neste caso, a saída do dispositivo pizoelétrico, tem a maior frequência possível e a duração de 2 ciclos de 65,3mS o que dá 130,6mS.

Exemplo 2: BEEP 0x90, 0x05

Aqui, a saída do diafragma pizoelétrico, tem uma frequência de 0x90 e uma duração de 5 ciclos de 65,3mS. É melhor experimentar diversos argumentos para a macro e seleccionar aquele que melhor se aplica.

A seguir, mostra-se a listagem da Macro BEEP:



BEEP.inc

```

;***** Declarar constantes *****
        CONSTANT PRESCbeep = b'00000111'        ; 65,3 ms por ciclo

;***** Macros *****

BEEP    macro    freq,duration

        movlw    freq
        movwf    Beep_TEMP1
        movlw    duration
        call     BEEPsub
        endm

BEEPinit macro

        bcf     BEEPport
        BANK1
        bcf     BEEPtris
        BANK0
        endm

;***** Subrotinas *****

BEEPsub
        movwf    Beep_TEMP2                ; Guardar duração do som
        clrf     TMR0                       ; Iniciar o contador
        bcf     BEEPport
        BANK1
        bcf     BEEPport
        movlw    PRESCbeep                 ; Valor do prescaler de TMR0
        movwf    OPTION_REG                ; OPTION <- W
        BANK0

BEEPa
        bcf     INTCON,TDIF                ; Flag de transbordo de TMR0 = 0

BEEpb
        bsf     BEEPport
        call    B_Wait                      ; Permanência a "1" lógico
        bcf     BEEPport
        call    B_Wait                      ; Permanência a "0" lógico
        btfs   INTCON,TDIF                ; Verificar flag de transbordo de TMR0
        goto   BEEpb                       ; Ignorar se for '1'
        decfsz Beep_TEMP2,1                ; Beep_TEMP2 = 0 ?
        goto   BEEPa                       ; Se não, voltar a BEEPa
        RETURN

B_Wait
        movwf    Beep_TEMP1
        movwf    Beep_TEMP3

B_Waita
        decfsz    Beep_TEMP3,1
        goto     B_Waita
        RETURN

```

O exemplo que se segue, mostra o uso de uma macro num programa. O programa produz duas melodias que são obtidas, premindo T1 ou T2. Algumas das macros apresentadas anteriormente são utilizadas no programa.



```
;***** Escolhendo e configurando o microcontrolador *****

PROCESSOR 16f84
#include "p16f84.inc"

    __CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC

;***** Declarar as variáveis *****

    Cblock 0x0C                ; Início da RAM
    WCYCLE                    ; Pertencem à macro 'WAITX'
    PRESCwait
    Beep_TEMP1                ; Pertencem à macro 'BEEP'
    Beep_TEMP2
    Beep_TEMP3
    endc

;***** Definir o hardware *****

#define BEEPport PORTA,3 ; Porto e pino do altifalante
#define BEEPtris TRISA,3

;***** Estrutura da memória de programa *****

    ORG 0x00                ; Vector de reset
    goto Main

    ORG 0x04                ; Vector de interrupção
    goto Main                ; Sem rotina de interrupção

#include "bank.inc"          ; Ficheiros auxiliares
#include "button.inc"
#include "wait.inc"
#include "beep.inc"

Main                        ; Início do programa
    BANK1
    movlw 0x17                ; Iniciação do Porto A
    movwf TRISA                ; TRISA <- 0x17
    movlw 0x00
    movwf TRISB
    BANK0

    BEEPinit                ; Iniciar o altifalante

    clrf PORTB

Loop
    Button 0, PORTA, 0, .100, Play1        ; Tecla 1
    Button 0, PORTA, 1, .100, Play2        ; Tecla 2
    goto Loop

Play1
    BEEP 0xFF, 0x02
    BEEP 0x90, 0x05
    BEEP 0xC0, 0x03
    BEEP 0xFF, 0x03                ; Primeira melodia
    return

Play2
    BEEP 0xbb, 0x02
    BEEP 0x87, 0x05
    BEEP 0xa2, 0x03
    BEEP 0x98, 0x03                ; Segunda melodia
    return

End                            ; Fim de programa
```


Ligação de um registro de deslocamento de entrada paralelo a um microcontrolador

Para simplificar o programa principal, pode ser usada uma macro para o registro de deslocamento de entrada paralelo. A macro HC597 tem dois argumentos:

HC597 macro Var, Var1

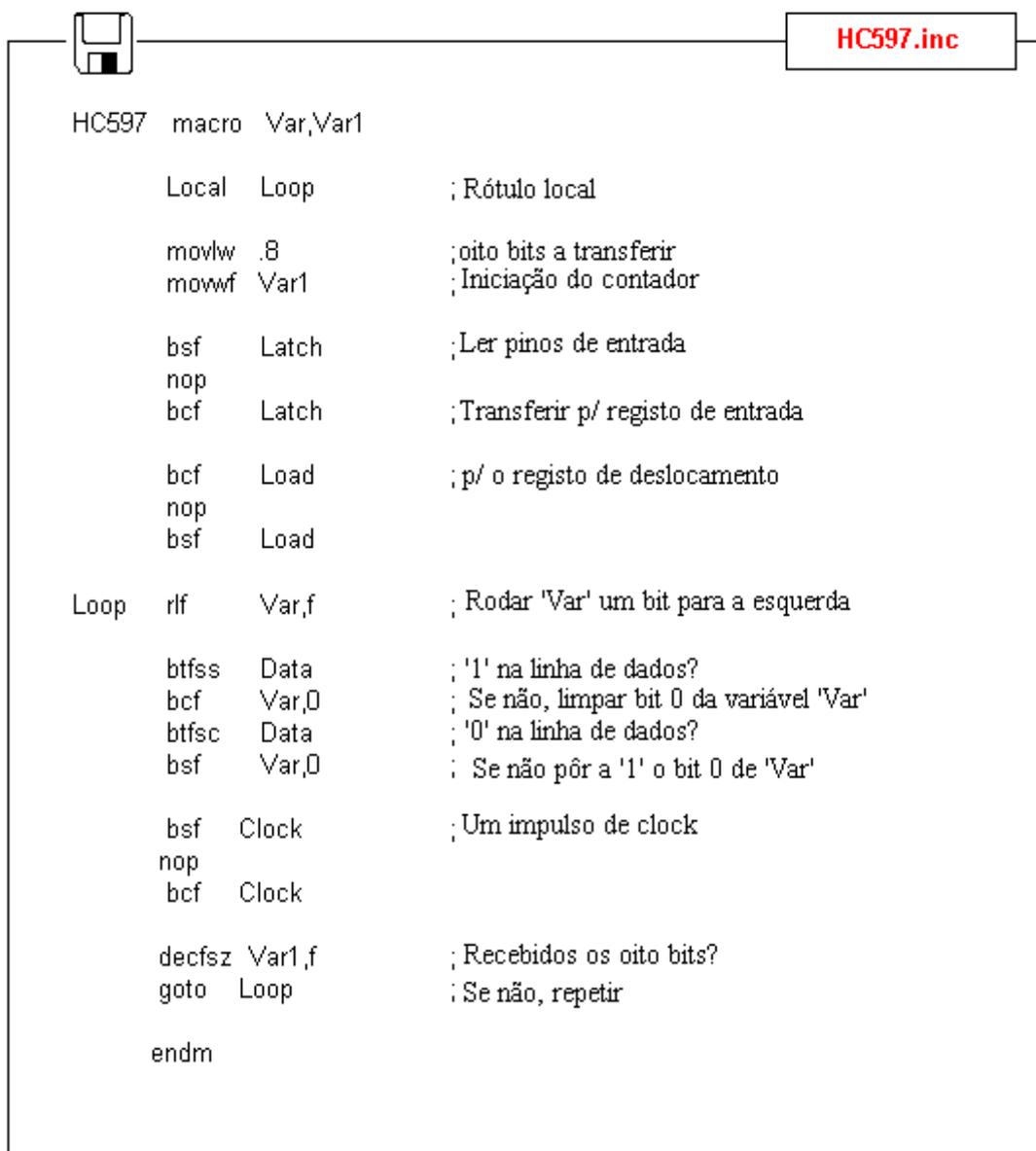
Var variável para onde os estados lógicos dos pinos de entrada do registro de deslocamento de entrada paralelo, são transferidos

Var1 contador de ciclos

Exemplo: HC597 dados, contador

Os dados provenientes dos pinos de entrada do registro de deslocamento são guardados na variável dados. O contador/temporizador é usado como contador de ciclos.

Listagem da macro:



Um exemplo de como usar a macro HC597 mostra-se no programa seguinte. Neste programa, é suposto que o byte de dados é recebido nas entradas paralelo do registro de deslocamento, a partir deste, os bits saem em série e entram no microcontrolador onde são guardados na variável RX. Os LEDs ligados ao Porto B visualizam a palavra de dados.



```
;***** Escolher e configurar o microcontrolador *****

PROCESSOR 16f84
#include "p16f84.inc"

    __CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC

;***** Declarar variáveis *****

    Cblock 0x0C          ; Início da Ram
    RX
    CountSPI
    endc

;***** Declarar o hardware *****

    #define Data    PORTA,0
    #define Clock   PORTA,1
    #define Latch   PORTA,2
    #define Load    PORTA,3

; ***** Estrutura da memória de programa*****

    ORG 0x00          ; Vector de reset
    goto Main

    ORG 0x04          ; Vector de interrupção
    goto Main         ; Sem rotina de interrupção

#include "bank.inc"   ; Ficheiros auxiliares
#include "hc597.inc"

Main                  ; Início do programa
    BANK1
    movlw b'00010001' ; Iniciação do Porto A
    movwf TRISA       ; TRISA <- 0x11
    clrf TRISB
    BANK0

    clrf PORTA        ; PORTA <- 0x00

    bsf Load         ; Habilitar reg. de deslocamento

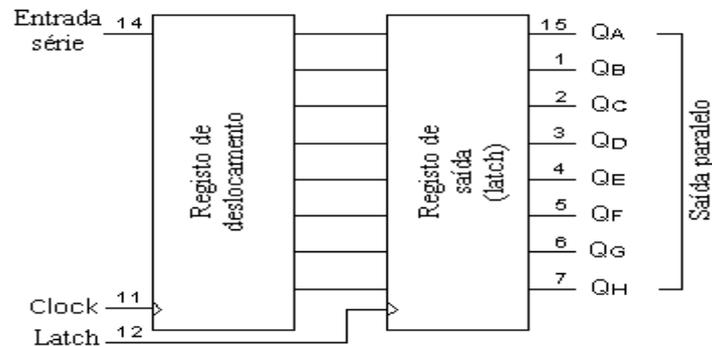
Loop
    HC597 RX, CountSPI

    ; Os estados dos pinos de entrada no Reg.
    movf RX,W         ; de deslocamento estão na variável RX
    movwf PORTB       ; Variável RX, para o Porto B
    goto Loop         ; Repetir o loop

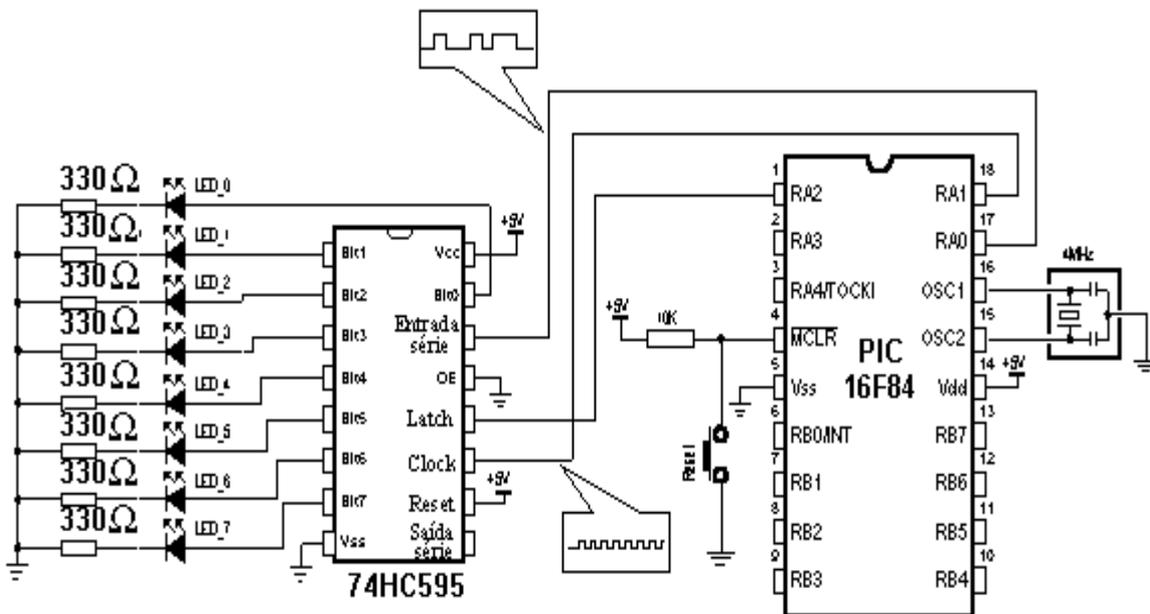
    End               ; Fim de programa
```

Registro de deslocamento de entrada paralela

Os registros de deslocamento de entrada série e saída paralela, transformam dados série em dados paralelo. Sempre que ocorre um impulso ascendente de clock, o registro de deslocamento lê o estado lógico da linha de dados, guarda-o num registro temporário e repete oito vezes esta operação. Quando a linha 'latch' é ativada, os dados são copiados do registro de deslocamento para o registro de saída (registro latch) onde ficam disponíveis em paralelo.



As ligações entre um registro de deslocamento 74HC595 e um microcontrolador, mostram-se no diagrama em baixo.



Ligação de um registro de deslocamento de saída paralelo a um microcontrolador

A macro usada neste exemplo é o ficheiro hc595.inc e é designada por HC595.

A macro HC595 tem dois argumentos:

HC595 macro Var, Var1

Var variável cujo conteúdo é transferido para as saídas do registro de deslocamento.

Var1 contador de ciclos (loops)

Exemplo: HC595 Dados, contador

O dado que queremos transferir, é guardado na variável dados e a variável contador é usada como contador de ciclos.



```
HC595 macro Var,Var1

    Local Loop          ; Rótulo local

    movlw .8            ; transferir oito bits
    movwf Var1          ; iniciação do contador

Loop    rlf Var,f       ; Rodar 'Var', um bit p/ a esquerda

        btfss STATUS,C ; Carry igua a '1' ?
        bcf Data       ; Não, '0' na linha de dados
        btfsc STATUS,C ; Carry a '0' ?
        bsf Data       ; Não, '1' na linha de dados

        bsf Clock      ; Impulso de clock
        nop
        bcf Clock

        decfsz Var1,f ; Enviados os oito bits?
        goto Loop     ; Não, repetir

        bsf Latch      ; Depois de os oito bits enviados, transferir o
        nop            ; conteúdo do reg. de deslocamento p/ o reg. de saída
        bcf Latch

    endm
```

Um exemplo de como usar a macro HC595 mostra-se no programa que se segue. Os dados provenientes da variável TX são transferidos em série para o registro de deslocamento. Os LEDs ligados às saídas paralelo do registro de deslocamento indicam os níveis lógicos destas linhas. Neste exemplo, é enviado o valor 0xCB (1100 1011) e, portanto, os LEDs ligados aos bits sete, seis, três, um e zero, vão acender.



```
;***** Seleccionar e configurar o microcontrolador *****  
  
PROCESSOR 16f84  
#include "p16f84.inc"  
  
    __CONFIG __CP_OFF & __WDT_OFF & __PWRTE_ON & __XT_OSC  
  
;***** Declarar variáveis *****  
  
    Cblock 0x0C          ; Início da Ram  
    TX                 ; Pertence à macro 'HC595'  
    CountSPI  
    endc  
  
;***** Declarar o hardware *****  
  
    #define Data      PORTA,0  
    #define Clock     PORTA,1  
    #define Latch     PORTA,2  
  
;***** Estrutura da memória de programa *****  
  
    ORG 0x00           ; Vector de reset  
    goto Main  
  
    ORG 0x04           ; Vector de interrupção  
    goto Main         ; Sem rotina de interrupção  
  
    #include "bank.inc" ; Ficheiros auxiliares  
    #include "hc595.inc"  
  
Main                    ; Início do programa  
  
    BANK1  
    movlw 0x18         ; Iniciação do Porto A  
    movwf TRISA        ; TRISA <- 0x18  
    BANK0  
  
    clrf PORTA         ; PORTA <- 0x00  
  
    movlw 0xCB         ; Preencher o buffer TX  
    movwf TX           ; TX <- '11001011'  
  
    HC595 TX, CountSPI  
  
Loop    goto    Loop    ; loop infinito  
  
End      ; Fim de programa
```

CAPÍTULO 6

Exemplos

Displays de 7-Segmentos (multiplexagem)

Os segmentos num display de 7 segmentos podem ser seleccionados de modo a obtermos quaisquer dos caracteres hexadecimais de 0 a F, um de cada vez, conforme se pode ver na animação:



É possível o visionamento de números com vários dígitos, utilizando displays adicionais. Embora seja mais confortável trabalhar com displays LCD (displays de cristal líquido), os displays de 7 segmentos continuam a constituir um standard na indústria. Isto devido à sua robustez em relação à temperatura, visibilidade e amplo ângulo de visão. Os segmentos são representados pelas letras minúsculas: a, b, c, d, e, f, g, dp, em que dp representa o ponto decimal.

Os 8 LEDs contidos no display podem estar dispostos nas configurações de ânodo comum ou de cátodo comum. Nos displays de cátodo comum, o cátodo comum deve ser ligado à massa e para que os leds acendam, é preciso aplicar uma tensão positiva aos respectivos ânodos (1 lógico). Os displays de ânodo comum apresentam o ânodo comum ligado a +5V e acendem quando se aplica um nível lógico zero aos cátodos respectivos. O tamanho do display é medido em milímetros, que corresponde à altura do display propriamente dito (não do encapsulamento mas sim do dígito!). No mercado, estão disponíveis displays com tamanho de 7, 10, 13.5, 20 ou 25mm. Podem também aparecer em diversas cores como vermelho, laranja e verde.

A maneira mais simples de alimentar um display é utilizando um 'display driver'. Estes estão disponíveis para até 4 displays.

Alternativamente, os displays podem ser atuados por intermédio de um microcontrolador e, se necessitarmos de mais que um display, podemos utilizar o método de 'multiplexagem'.

A principal diferença entre estes dois métodos, consiste no número de linhas utilizadas para fazer as ligações aos displays. Um 'driver' especial, pode necessitar apenas de uma linha de "clock" e será o chip que o contém que irá aceder aos segmentos e incrementar o display.

Se o microcontrolador for alimentar um único display, então apenas serão necessárias 7 linhas ou mais uma se utilizarmos o ponto decimal. Se utilizarmos vários displays, então precisamos de uma linha adicional para cada display.

Para construirmos displays de 4, 5 ou 6 dígitos, devemos ligar em paralelo todos os displays de 7 segmentos.

A linha de cátodo comum (no caso de displays de cátodo comum) é tratada separadamente e é posta a nível baixo durante um curto espaço de tempo para acender o display.

Todos os displays devem acender-se sucessivamente um após outro e, este processo, deve repetir-se cerca de 100 vezes por segundo, fazendo com que todos os displays acesos em simultâneo.

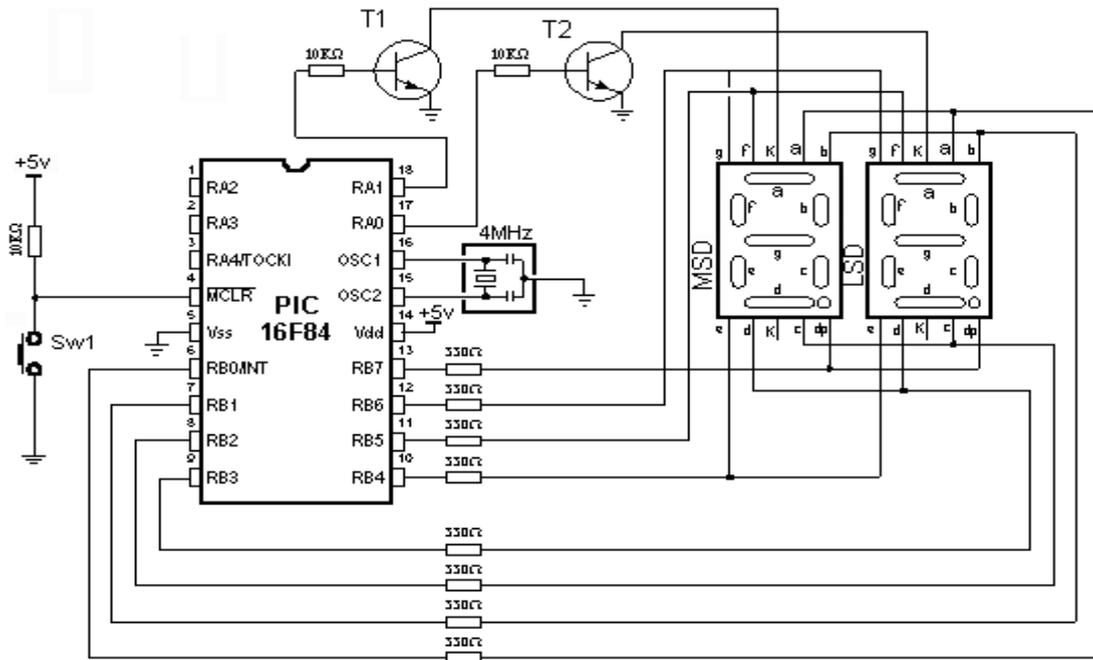
Sempre que um display é seleccionado, e para que a leitura seja carreta, o dado correspondente a esse display deve estar disponível nas linhas que vão ligar aos segmentos. Até 6 displays podem ser acedidos deste modo, sem que o brilho desses displays seja afetado. Cada display é ativado

durante um sexto do tempo com bastante intensidade e, a persistência da imagem nos nossos olhos, faz parecer que todos os displays estão todos acesos ao mesmo tempo.

As temporizações de todos os sinais destinados aos displays são produzidas pelo programa, a grande vantagem de ser o microcontrolador a lidar com os displays, é a sua flexibilidade.

O programa do microcontrolador pode ser concebido para obtermos uma contagem crescente ou decrescente no display, ou para produzir um certo número de mensagens usando letras do alfabeto que são geradas facilmente.

O exemplo em baixo, mostra como ativar dois displays.



Ligando um microcontrolador a displays de 7 segmentos no modo multiplexado

O ficheiro Led.inc contém duas macros: LED_Init e LED_Dis2. A primeira macro é usada para iniciação do display. É nela que o período de refrescamento do display é definido bem como quais os pinos do microcontrolador que vão ser ligados aos displays. A segunda macro é usada para visualizar os números de 0 a 99 nos dois displays.

A macro LED_Dis2 tem um argumento:

LED_Dis2 macro número

numero é o número de 0 a 99 que vai ser mostrado nos dígitos MSD e LSD.

Exemplo: LED_Dis2 0x34

Neste caso, vai aparecer o número 34 nos displays.

Neste caso, o número 34, vai aparecer nos dois displays

A implementação da macro mostra-se na listagem que se segue.



```
;***** Macros *****

LED_Init macro
call InitPorts
call InitTimers
endm

LED_Disp2 macro num
movlw num
movwf LO
call UpdateDisplay
endm

;***** Subprogramas *****

InitPorts
    BANK1
    clrf LEDtrisA           ; Pinos RA0-4 de saída
    clrf LEDtrisB           ; Porto B de saída
    BANK0
    clrf LEDportA           ; Todos os bits a
    clrf LEDportB           ; nível lógico 0
    bsf LEDportA,3         ; Activar display MSD

    RETURN

InitTimers
    BANK1
    movlw B'10000100'       ; Prescaler atribuído a TMR0
    movwf OPTION_REG       ; e igual a 32
    BANK0
    movlw B'00100000'       ; Habilitar interrupção por TMR0
    movwf INTCON           ;
    movlw .96               ;
    movwf TMR0              ; Iniciar o temporizador

    RETFIE

;*****ISR - Rotina de Serviço de Interrupção*****

ISR
    bcf INTCON,GIE          ; Inibir todas as interrupções
    btfsc INTCON,GIE        ; Verificar se estão inibidas
    goto ISR

    movlw .96               ; Iniciar TMR0
    movwf TMR0
    bcf INTCON,TOIF         ; Limpar a flag TOIF
    call UpdateDisplay      ; atualizar o display

    RETFIE

UpdateDisplay
    movf LEDportA,W         ; Estado dos displays -> registo w
    clrf LEDportA           ; Apagar todos os displays de 7 segmentos
    andlw 0x0f              ; Isolar os quatro bits menos significativos
    movwf TempC             ; Guardar o estado dos displays em TempC
    bsf TempC,4             ; Estado inicial do display menos significativo
    rrf TempC,F             ; Estabelecer estado do display seguinte

    btfss STATUS,C          ; c=1 ?
    bcf TempC,3             ; Se não, apagar display menos significativo
    btfsc TempC,0           ; Se sim, verificar estado do display + significativo
    goto UpdateMsd         ; Se display activado, mostrar o byte + significativo

UpdateLsd
    call ChkMsdZero         ; dígito + significativo = 0 ?
    btfss STATUS,Z         ; sim, ignorar inst. seguinte
    movf LO,W              ; dígito - significativo -> W
    andlw 0x0f              ; mascarar o que não interessa
    goto DisplayOut        ; Visualizar no display

UpdateMsd
    swapf LO,W              ; dígito + significativo -> W
    andlw 0x0f              ; mascarar o que não interessa
    btfsc STATUS,Z         ; dígito + significativo diferente de 0?
    movlw 0x0a             ; Se sim, ignorar

DisplayOut
    call LedTable           ; Obter código de acendimento
    movwf LEDportB         ; Código de acendimento p/ Porto B
    movf TempC,W           ; Acender o display
    movwf LEDportA

    RETURN

LedTable
    addwf PCL, F
    retlw B'00111111'       ; código de acendimento de '0'
    retlw B'00000110'       ; código de acendimento de '1'
    retlw B'01011011'       ; código de acendimento de '2'
    retlw B'01001111'       ; código de acendimento de '3'
    retlw B'01100110'       ; código de acendimento de '4'
    retlw B'01101101'       ; código de acendimento de '5'
    retlw B'01111101'       ; código de acendimento de '6'
    retlw B'00000111'       ; código de acendimento de '7'
    retlw B'01111111'       ; código de acendimento de '8'
    retlw B'01101111'       ; código de acendimento de '9'
    retlw B'00000000'       ; display apagado.....

ChkMsdZero
    movf LO,W              ; Verificar zero à esquerda
    btfss STATUS,Z         ; dígito + significativo -> W
    RETURN                 ; = 0 ?
    retlw .10              ; Se não for = 0
                          ; Se for = 0, regressar com W= .10
```

O programa que se segue, exemplifica a utilização de macros num programa. Este programa faz aparecer o número '21' nos dois displays de 7 segmentos.

LED.asm

```

;***** Escolher e configurar o microcontrolador *****
PROCESSOR 16f84
#include "p16f84.inc"

__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC

;***** Declarar variáveis *****
Cblock 0x0C ; Início da Ram
TempC ; Pertence à macro "LED_Dis2"
LO
endc

;***** Declarar o hardware *****
LEDtrisA equ TRISA
LEDportA equ PORTA

LEDtrisB equ TRISB
LEDportB equ PORTE

;***** Estrutura da memória de programa *****
ORG 0x00 ; Vector de reset
goto Main

ORG 0x04 ; Vector de interrupção
; A rotina de interrupção encontra-se
; no ficheiro 7-seg.inc

#include "bank.inc" ; ficheiros auxiliares
#include "7-seg.inc"

Main ; Início do programa
LED_Init

LED_Dis2 0x21 ; Visualizar nos dois displays de 7 segmentos
; o número "21"
loop goto loop ; Permanecer aqui

End ; Fim do programa

```

DISPLAY LCD

Cada vez mais os microcontroladores estão a usar 'displays de cristal líquido - LCD' para visualizarem a saída de dados. A discussão que se segue diz respeito à ligação de um **display LCD Hitachi** a um microcontrolador PIC. Estes displays LCD são baseados no módulo de LCD HD44780 da Hitachi, são baratos, fáceis de usar e permitem utilizar os 8x80 pixels de display. Estes displays LCD contêm um conjunto de caracteres ASCII standard e ainda caracteres japoneses, gregos e símbolos matemáticos.



Display Hitachi HD44780 de duas linhas com 16 caracteres por linha

Cada um dos 640 pixels do display, podem ser acedidos individualmente, esta tarefa é executada por chips de controle montados em superfície, na parte detrás do display.

Isto permite-nos poupar uma enorme quantidade de fios e linhas de controle, de tal maneira que, através de poucas linhas é possível fazer a ligação do display ao mundo exterior. É possível comunicar com o exterior através de um bus de 8 bits ou mesmo através de um bus de dados de apenas 4 bits.

No caso de escolhermos um bus de dados de 8 bits, o display requer uma alimentação de +5V mais 11 linhas de entrada e saída. Se optarmos pelo bus de dados de 4 bits, apenas precisamos de 7 linhas mais a alimentação. Quando o display LCD não está habilitado, as linhas de dados tristate assumem o estado de alta impedância (como se estivessem desligadas do circuito) o que significa que não interferem com o funcionamento do microcontrolador.

O LCD também requer do microcontrolador mais 3 linhas de "controle".

A linha **Enable (E)** permite a ativação do display e a utilização das linhas R/W e RS. Quando a linha de habilitar (Enable) está a nível baixo, o LCD fica inibido e ignora os sinais R/W e RS. Quando (E) está a nível alto, o LCD verifica os estados das duas linhas de controle e reage de acordo com estes.

A linha **Read/Write (R/W)** determina o sentido dos dados entre o microcontrolador e o LCD. Quando está a nível baixo, os dados estão a ser escritos no LCD. Quando está a nível alto, os dados estão a ser lidos do LCD.

Com a ajuda da linha de **Seleção de registro (RS)**, o LCD interpreta o tipo de dados presentes nas linhas de dados. Quando está a nível baixo, está a ser escrita uma instrução no LCD. Quando está a nível alto é um carácter que está a ser escrito no LCD.

Estado lógico nas linhas de controle:

E	0 Acesso ao LCD inibido
	1 Acesso ao LCD habilitado
R/W	0 Escrever dados no LCD
	1 Ler dados do LCD
RS	0 Instrução
	1 Caracter

A escrita dos dados no LCD, é feita em várias etapas:

Pôr o bit R/W a nível baixo

Pôr o bit RS a nível lógico 0 (instrução) ou a nível lógico 1 (caracter)

Colocar o dado na linha de dados (se for uma operação de escrita)

Pôr a linha E a nível alto

Pôr a linha E a nível baixo

Ler o dado das linhas de dados (no caso de uma operação de leitura)

A leitura de dados do LCD é feita da mesma maneira, mas a linha de controle tem que estar a nível alto. Antes de enviarmos comandos ou dados para o módulo LCD, este tem que ser iniciado. Comandos típicos enviados depois de um reset podem ser: ativar um display, visualizar um cursor e escrever os caracteres da esquerda para a direita.

Depois de iniciado o LCD, ele fica pronto para continuar a receber dados ou comandos. Se receber um carácter, ele escreve-o no display e move o cursor um espaço para a direita. O cursor marca o

local onde o próximo carácter vai ser escrito. Quando queremos escrever uma cadeia de caracteres, primeiro necessitamos de estabelecer um endereço de início e depois enviar os caracteres, um de cada vez. Os caracteres que podem ser mostrados no display estão guardados na RAM de display de dados (DD). O tamanho da DDRAM é de 80 bytes.

O display LCD também possui 64 bytes de RAM Geradora de Caracteres (CG). Os dados na RAM CG representam caracteres num mapa de 8 bits.

Cada carácter gasta até 8 bytes de RAM geradora de caracteres, assim, o número total de caracteres que podem ser definidos pelo utilizador pode ir até oito. De modo a ler o mapa de bits de caracteres no display LCD, temos primeiro que estabelecer o endereço de início na CGRAM (O geralmente) e, a seguir, escrever dados no display. A definição de carácter 'especial' mostra-se na figura ao lado.

Endereços CG RAM	Mapa de bits	Dados
0000	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	01010
0001	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	00100
0010	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	01110
0011	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	10001
0100	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	10000
0101	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	10001
0110	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	01110
0111	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	00000

Depois de definirmos um carácter especial e antes de acedermos à RAM DD, o programa tem que apontar para o endereço da RAM DD. Escrever e ler dados de ou para a memória LCD faz-se a partir do último endereço que é estabelecido usando a instrução set-address (definir endereço). Uma vez fixado o endereço da RAM DD, um novo carácter pode ser visualizado no local apropriado do écran.

Até agora, encaramos as operações de escrita ou leitura relativamente a um LCD como se estas incidissem sobre uma memória normal. Mas não é disto que se trata. O controlador do LCD precisa de 40 a 120 microssegundos (μ s) para ler e escrever. Outras operações podem demorar até 5mS. Durante este período de tempo, o microcontrolador não pode aceder ao LCD, assim, num programa, é preciso saber quando o LCD está ocupado. Podemos resolver este problema de duas maneiras.

Apontar endereço DD RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	A	A	A	A	A	A	A

Apontar endereço CG RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	A	A	A	A	A	A

Escrever dado na RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	D	D	D	D	D	D	D	D

Ler dado da RAM

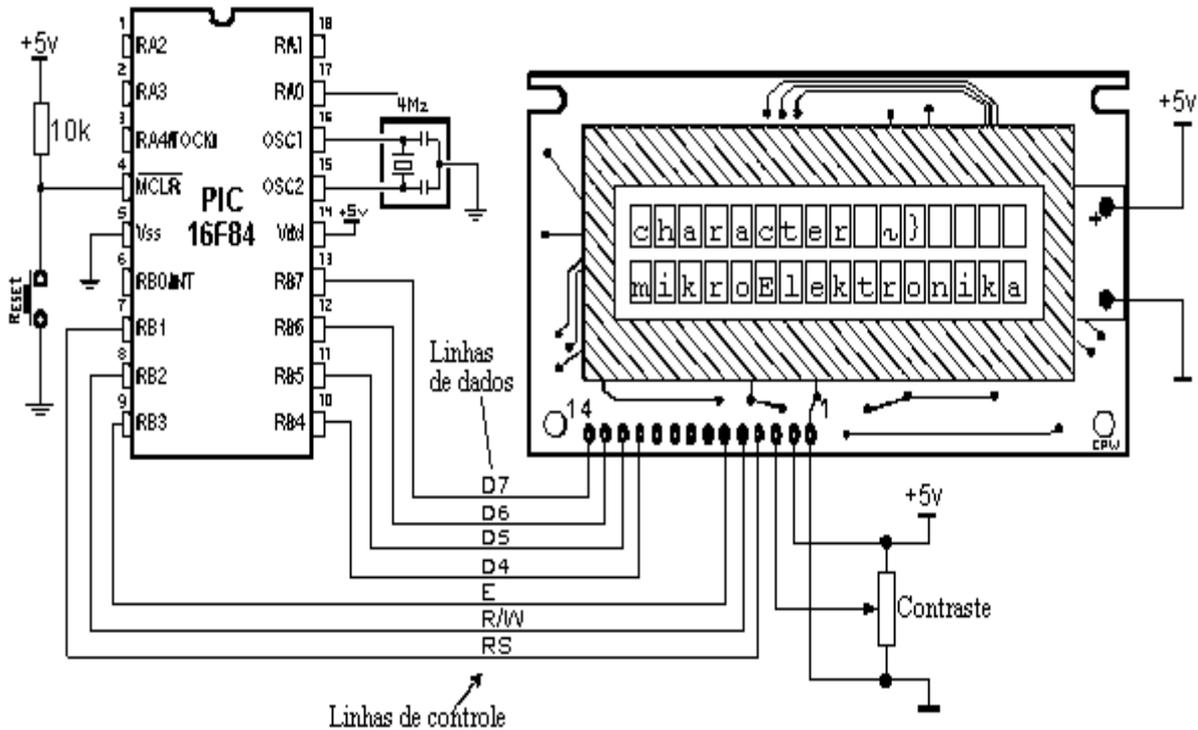
RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	D	D	D	D	D	D	D	D

A = Endereço

D = Dado

Uma maneira, é verificar o bit BUSY que coincide com a linha de dados D7. Este não é, contudo, o melhor método porque o LCD pode bloquear e o programa permanecer para sempre num loop de verificação do bit BUSY. A outra maneira, é introduzir um tempo de espera no programa. Este período de tempo deve ser suficientemente longo para permitir que o LCD termine a operação. As instruções destinadas a ler ou escrever na memória de um LCD, mostram-se na tabela anterior.

No princípio, dissemos que eram precisas 11 linhas de entrada e saída para comunicar com um LCD. Contudo, também é possível comunicar com um LCD, através de um bus de dados de apenas 4 bits. Deste modo, é possível reduzir para sete o total de linhas de comunicação. Uma ligação, através de um bus de dados de 4 bits, mostra-se no diagrama em baixo. Neste exemplo, nós usamos um display LCD com 2x16 caracteres e que o fabricante japonês SHARP designa por LM16X212. A mensagem 'character' é escrita na primeira linha e dois caracteres especiais '~' e '}' são também mostrados. Na segunda linha, está a palavra 'mikroElektronika'.



Ligação de um display LCD a um microcontrolador

O ficheiro **LCD.inc** contém um grupo de macros para utilizarmos quando trabalhamos com displays LCD.



```
;***** Declarar o hardware *****
RS    equ    1          ; Selecção de registo
RW    equ    2          ; Ler/Escriver
EN    equ    3          ; Habilitar saída/"CLK"

;***** Comandos LCD *****
CONSTANT LCDEM8 = b'00110000' ; Modo 8 bits, 2 linhas
CONSTANT LCDDZ = b'10000000' ; Escrever 0 na DDRAM
CONSTANT LCDEM4 = b'00100000' ; Modo 4 bits, 2 linhas

;***** Comandos standard para iniciação do LCD *****
CONSTANT LCD2L = b'00101000' ; Função: 4 bits, 2 linhas
CONSTANT LCDCONT = b'00001100' ; Controle de display: Display ON
; Cursor OFF, piscar OFF
CONSTANT LCDSH = b'00101000' ; Modo de display: deslocar cursor
; sem autodeslocamento do display

;***** Comandos LCD standard *****

;Para enviar um destes comandos para o LCD, usamos a macro LCDcmd
; ex. "LCDcmd LCDCLR"

CONSTANT LCDCLR = b'00000001' ; limpar o display, repôr cursor
CONSTANT LCDCH = b'00000010' ; cursor no início
CONSTANT LCDCR = b'00000110' ; mover cursor p/ a direita
CONSTANT LCDCL = b'00000100' ; mover cursor p/ a esquerda
CONSTANT LCDSL = b'00011000' ; conteúdo do display p/ esquerda
CONSTANT LCDSR = b'00011100' ; conteúdo do display p/ a direita
CONSTANT LCDL1 = b'10000000' ; seleccionar linha 1
CONSTANT LCDL2 = b'11000000' ; seleccionar linha 2

;***** Macros *****

LCDinit macro
    call LCD_init          ; iniciação do LCD
endm

LCDchar macro LCDarg          ; escrever caracter no LCD
    movlw LCDarg
    call LCDdata
endm

LCDw macro
    call LCDdata
endm

LCDcmd macro LCDcommand          ; enviar comando para o LCD
    movlw LCDcommand
    call LCDcomd
endm

LCDline macro line_num
    IF (line_num == 1)
        LCDcmd LCDL1          ; Começar macro com o comando "1ª linha"
    ELSE
        IF (line_num == 2)
            LCDcmd LCDL2          ; Começar macro com o comando "2ª linha"
        ELSE
            ENDIF
        ENDIF
    ENDIF
endm

LCD_DDAdr macro DDRamAddress
    Local value = DDRamAddress | b'10000000' ; Início da DDRAM
    IF (DDRamAddress > 0x67)
        ERROR "Wrong DDRAM address in LCD_DDAdr"
    ELSE
        movlw value
        call LCDcomd
    ENDIF
endm

LCD_CGAdr macro CGRamAddress
    Local value = CGRamAddress | b'01000000' ; Início da CGRAM
    IF (CGRamAddress > b'00111111')
        ERROR "Wrong CGRAM address in LCD_CGAdr"
    ELSE
        movlw value
        call LCDcomd
    ENDIF
endm
```

```

:**** Subprogramas ****
LCDcomd clrflag LCDbuf ; Limpar flag de dados
goto LCDdwr

LCDdata clrflag LCDbuf ; Pôr a '1' flag de dados
bsf LCDbuf,RS

LCDdwr movwf LCDtemp ; Comando/dado em Temp
andlw b'11110000' ; isolar os 4 bits + significativos
iorwf LCDbuf,0 ; isolar flag de dados
movwf LCDport ; enviar os 4 bits + significativos p/ o porto do LCD
call LCDclk
clrflag LCDport
swapf LCDtemp,0 ; trocar os 4 bits + significativos c/ os 4 bits - sig.
; novamente
andlw b'11110000' ; isolar os 4 bits - significativos
iorwf LCDbuf,0 ; isolar flag de dados
movwf LCDport ; enviar os 4 bits - significativos p/ o porto do LCD
call LCDclk
clrflag LCDport
RETURN

LCDclk WAITX 0x02,0x00 ; Habilitar transferência de um dado
; ou comando para o LCD

bsf LCDport,EN
bcf LCDport,EN
WAIT 0x02
RETURN

LCD_init
clrflag LCDport ; preparar o porto do LCD
BANK1
clrflag OPTION_REG
movlw b'00000000'
movwf LCDtris
BANK0
WAIT 0x02

movlw LCDEM8 ; Iniciação no
movwf LCDport ; modo "8 bits"
call LCDclk
clrflag LCDport
WAIT 0x02

movlw LCDDZ ; escrever 0 na DDRAM
movwf LCDport
call LCDclk
clrflag LCDport

movlw LCDEM4 ; ir para o modo '4 bits'
movwf LCDport
call LCDclk
clrflag LCDport

LCDcmd LCD2L ; modo 4 bits, 2 linhas
LCDcmd LCDCONT ; Display ligado, sem cursor
LCDcmd LCDSH ; Autoincrementar display sem autodeslocamento
LCDcmd LCDCLR ; Limpar display, apontar endereço 0
call LCDspecialChars ; Caracteres definidos pelo utilizador
; na CGRAM

RETURN

LCDspecialChars ; O utilizador pode definir um
; máximo de 8 caracteres

; *** o primeiro byte do caracter especial está no ***
; *** endereço 0x00 da CGRAM ***

LCD_CGAdr 0x00 ; Enviar endereço da CGRAM
LCDchar b'00001010' ; Escrever dado no endereço da CGRAM
LCD_CGAdr 0x01
LCDchar b'00000100'
LCD_CGAdr 0x02
LCDchar b'00001110'
LCD_CGAdr 0x03
LCDchar b'00010001'
LCD_CGAdr 0x04
LCDchar b'00010000'
LCD_CGAdr 0x05
LCDchar b'00010001'
LCD_CGAdr 0x06
LCDchar b'00001110'
LCD_CGAdr 0x07
LCDchar b'00000000'

;
; ***o primeiro byte do segundo caracter especial está no ***
; ***endereço 0x08 da CGRAM ***

LCD_CGAdr 0x08
LCDchar b'00000010'
LCD_CGAdr 0x09
LCDchar b'00000100'
LCD_CGAdr 0x0A
LCDchar b'00001110'
LCD_CGAdr 0x0B
LCDchar b'00010001'
LCD_CGAdr 0x0C
LCDchar b'00010000'
LCD_CGAdr 0x0D
LCDchar b'00010001'
LCD_CGAdr 0x0E
LCDchar b'00001110'
LCD_CGAdr 0x0F
LCDchar b'00000000'

LCD_DDAdr 0x00 ; Fazer o reset da DDRAM

RETURN

```

Macros para LCD

LCDinit macro usada para iniciar o porto a que o LCD está ligado. O LCD é configurado para trabalhar no modo de 4 bits.

Exemplo: LCDinit

LCDchar LCDarg Escrever caracter ASCII. O argumento é o caracter ASCII.

Exemplo: LCDChar 'd'

LCDw Escrever o caracter correspondente ao conteúdo do registro W.

Exemplo: movlw 'p'

LCDw

LCDcmd LCDcommand Enviar comandos

Exemplo: LCDcmd LCDCH

LCD_DDAdr DDRamAddress Apontar o endereço da DDRAM

Exemplo: LCD_DDAdr .3

LCDline line_num Colocar o cursor no início da primeira ou da segunda linha

Exemplo: LCDline 2

Quando se trabalha com um microcontrolador os números são tratados na forma binária.

Como tal, é difícil apresentá-los num display. É por isso que é necessário converter esses números do sistema binário para o sistema decimal, de modo a que possam ser facilmente entendidos. A seguir, apresentam-se as listagens de duas macros **LCDval_08** e **LCDval_16**.

A macro **LCDval_08** converte um número binário de oito bits num número decimal entre 0 e 255 e mostra o resultado num display LCD. É necessário declarar as seguintes variáveis no programa principal: TEMP1, TEMP2, LO, LO_TEMP, Bcheck. O número binário de oito bits é guardado na variável LO. Quando a macro é executada, o equivalente decimal deste número vai ser mostrado no display LCD. Os zeros à esquerda não irão ser mostrados.



```
;***** Macros *****  
  
LCDval_08 macro  
    call LCDval08  
endm  
  
;***** Subprogramas*****  
  
LCDval08  
    movfw    LO                ;LO->LO_TEMP  
    movwf    LO_TEMP  
    clrf     Bcheck           ;iniciar indicador de zero à esquerda  
  
    movlw    d'100'           ;Determinar algarismo das centenas  
    movwf    TEMP2  
    call     VALcnv  
  
    movlw    d'10'            ;Determinar algarismo das dezenas  
    movwf    TEMP2  
    call     VALcnv  
  
    movlw    d'1'             ;Determinar algarismo das unidades  
    movwf    TEMP2  
    bsf     Bcheck,0          ;limpar indicador se não houver zeros à esquerda  
  
    call     VALcnv  
    RETURN  
  
VALcnv  
    clrf     TEMP1            ;Iniciação do contador  
    movfw    TEMP2  
  
VALc01  
    subwf    LO_TEMP,0        ;Testar se LO > 99, c=0 se for maior  
    skpc  
    goto     LCDval2          ;Sair, se for menor  
  
    incf     TEMP1,1          ;Incrementar contador  
    movfw    TEMP2  
    subwf    LO_TEMP,1        ;TEMP1=TEMP1-100  
    bsf     Bcheck,0  
    goto     VALc01  
  
LCDval2 movlw    0'           ;A escrever um dígito no LCD  
    addwf    TEMP1,0          ;Adicionar ao contador  
    btfss   Bcheck,0  
    movlw    ' '              ;Omitir zero à esquerda  
    LCDw    ' '              ;Escrever dígito no LCD  
    RETURN
```

A macro **LCDval_16** converte um número binário de 16 bits num número decimal entre 0 e 65535 e mostrando-o no display LCD. As seguintes variáveis necessitam de ser declaradas no programa principal: TEMP1, TEMP2, TEMP3, LO, HI, LO_TEMP, HI_TEMP, Bcheck. O número binário de 16 bits, ocupa as variáveis LO e HI. Quando a macro for executada, o equivalente decimal do número será apresentado no display LCD. Os zeros à esquerda do número não são mostrados.



```
;***** Macros *****  
  
LCDval_16 macro  
    call LCDval16  
endm  
  
;***** Subprogramas *****  
  
LCDval16  
    movfw    LO                ;LO->LO_TEMP  
    movwf    LO_TEMP          ;SUB-LO  
    movfw    HI                ;SUB-HI  
    movwf    HI_TEMP          ;HI->HI_TEMP  
    clrf     Bcheck           ;iniciar indicador de zero à esquerda  
  
    movlw    b'00010000'      ;Determinar dezenas de milhar  
    movwf    TEMP2            ;SUB-LO  
    movlw    b'00100111'      ;SUB-HI  
    movwf    TEMP3            ;SUB-HI  
    call     VALcnv  
  
    movlw    b'11101000'      ;Determinar algarismo dos milhares  
    movwf    TEMP2            ;SUB-LO  
    movlw    b'00000011'      ;SUB-HI  
    movwf    TEMP3            ;SUB-HI  
    call     VALcnv  
  
    movlw    b'01100100'      ;Determinar algarismo das centenas  
    movwf    TEMP2            ;SUB-LO  
    clrf     TEMP3            ;SUB-HI se for zero  
    call     VALcnv  
  
    movlw    b'00001010'      ;Determinar algarismo das dezenas  
    movwf    TEMP2            ;SUB-LO  
    clrf     TEMP3            ;SUB-HI se for zero  
    call     VALcnv  
  
    movlw    b'00000001'      ;Determinar algarismo das unidades  
    movwf    TEMP2            ;SUB-LO  
    clrf     TEMP3            ;SUB-HI se for zero  
    bsf     Bcheck,0          ;limpar indicador se não houver zeros à esquerda  
  
    call     VALcnv  
    RETURN  
  
VALcnv                                ;Iniciação do contador  
    clrf     TEMP1  
  
Vcnv1  
    movfw    TEMP3  
    subwf    HI_TEMP,0  
    skpc  
    goto     LCDval2          ;Ignorar instrução seguinte se HI>=0  
    bnz     Vcnv2            ;Sair se não for  
  
    movfw    TEMP2  
    subwf    LO_TEMP,0  
    skpc  
    goto     LCDval2          ;Ignorar instrução seguinte se LO>=0  
    bnz     Vcnv2            ;Sair se não for  
  
Vcnv2  
    movfw    TEMP3  
    subwf    HI_TEMP,1        ;HI=HI-TEMP3  
    movfw    TEMP2  
    subwf    LO_TEMP,1        ;LO=LO-TEMP2  
    skpc  
    goto     Vcnv1            ;Ignorar instrução seguinte se LO>=0  
    decf    HI_TEMP,1        ;Decrementar HI  
    incf    TEMP1,1          ;Incrementar contador  
    bsf     Bcheck,0  
    goto     Vcnv1  
  
LCDval2 movlw    '0'          ;Escrevendo um dígito no LCD  
    addwf    TEMP1,0          ;Adicionar ao contador  
    btfss   Bcheck,0  
    movlw   ''  
    LCDw  
    RETURN
```

O programa principal demonstra como usar o display LCD e gerar novos caracteres. No início do programa, nós necessitamos de declarar as variáveis **LCDbuf** e **LCDtemp** usadas pelos subprogramas para o LCD, bem como o porto do microcontrolador a que o LCD vai ser ligado.

O programa escreve a mensagem 'characters:' na primeira linha e apresenta também dois caracteres especiais '~' e '}'. Na segunda linha mostra-se 'mikroElektronika'.



LCD.asm

```

;***** Escolher e configurar o microcontrolador *****
PROCESSOR 16f84
#include "p16f84.inc"

    __CONFIG_CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC

;***** Declarar variáveis *****

    Cblock 0x0C                ; Início da RAM
    LCDbuf                    ; Pertence às macros 'LCDxxxx'
    LCDtemp
    WCYCLE                    ; Pertence à macro 'WAITX'
    PRESCwait
    Pointer                    ; Ponteiro para os caracteres da mensagem
    endc

;***** Declarar o hardware *****

    LCDtris equ    TRISB
    LCDport equ    PORTB

;***** Estrutura da memória de programa *****

    ORG    0x00    ; Vector de reset
    goto   Main

    ORG    0x04    ; Vector de interrupção
    goto   Main    ; Sem rotina de interrupção

Messages                ; Início das mensagens

    movwf PCL

                                ; Mostrar mensagens

Message1 dt "mikRoEleKtrOnlKa"
Message2 dt "bla, bla"
Message3 dt "example"

END_messages                ; Fim das mensagens

#include "bank.inc"        ; Ficheiros auxiliares
#include "wait.inc"
#include "lcd.inc"
#include "print.inc"

Main                        ; Início do programa

    bcf PORTB,2

    LCDinit                ; Iniciação do LCD

    LCDchar 'C'            ; Mostrar os caracteres no LCD
    LCDchar 'a'
    LCDchar 'r'
    LCDchar 'a'
    LCDchar 'c'
    LCDchar 't'
    LCDchar 'e'
    LCDchar 'r'
    LCDchar 's'
    LCDchar ':'
    LCDchar ''

    LCDchar    0x00        ; Mostrar caracteres especiais
    LCDchar    0x01

    LCDline 2            ; Segunda linha

; Mostrar Message1 no LCD

    PRINT    Messages, Message1, Message2, Pointer, LCDw

Loop    goto    Loop    ; Ciclo infinito

End                ; Fim de programa

```

Conversor Analógico-Digital de 12 bits

Se tudo no mundo dos microcontroladores é representado por "0's" e "1's", como é que chegamos a um sinal igual a por exemplo 0,5 ou 0,77?

Parte do mundo exterior a um computador consiste em sinais áudio. Além da fala e da música, existem muitas outras grandezas que necessitam de ser introduzidas num computador. Humidade, temperatura, pressão atmosférica, cor e níveis de metanos são outros exemplos.

A resposta é usar um conjunto de linhas digitais e juntá-las de modo a que elas possam "ler" um valor analógico. Um valor analógico é qualquer valor **entre** 0 e 1. Também se lhe pode chamar um "valor fracionário". Todas as grandezas necessitam de ser convertidas em valores entre 0 e 1 de modo a poderem entrar num computador.

Trata-se de um conceito lato. Que se torna um pouco mais complexo quando tem que ser aplicado.

Se tomarmos 8 linhas e fizermos com que estas aceitem valores binários, a contagem total será 256 (o que corresponde à contagem até 255 mais o valor 0).

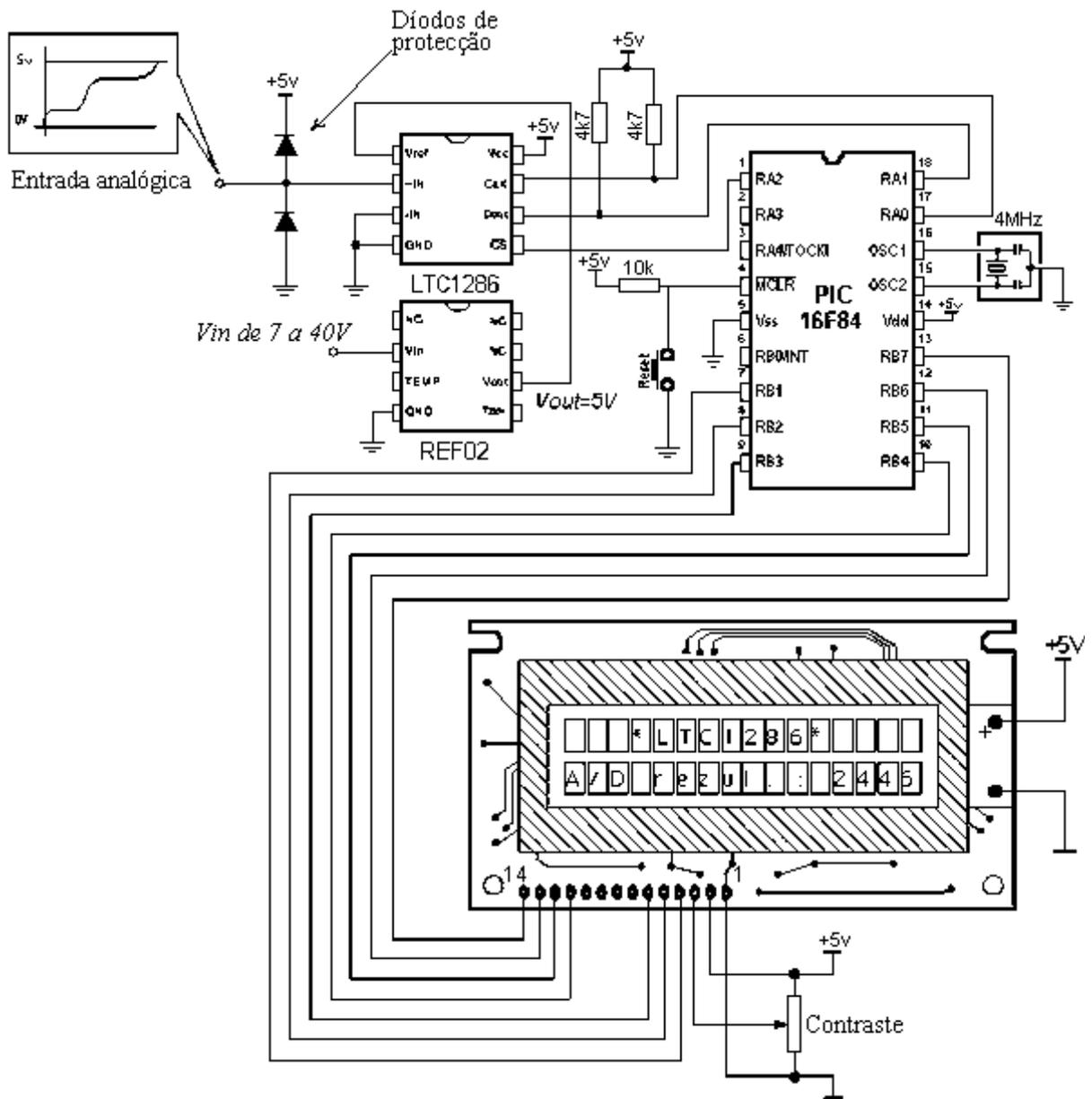
Se juntarmos estas 8 linhas numa "caixa preta", elas passarão a ser designadas como linhas de saída e, assim, temos que arranjar uma linha de entrada. Com esta configuração, nós podemos detectar 255 incrementos entre zero e "1". Esta caixa preta é designada por **CONVERSOR** e, como estamos a converter um valor **Analógico** num **Digital**, o conversor é designado por **conversor analógico-digital** ou **ADC (Analog Digital Converter)**.

Os conversores analógicos – digitais podem ser classificados de acordo com diferentes parâmetros. Os parâmetros mais importantes são a **resolução** e o **modo de transferir dados**. Quando falamos de resolução, encontramos conversores de 8 bits, 10 bits, 12 bits, 14 bits e 16 bits. Como os conversores de 12 bits constituem um standard na indústria, o exemplo que vamos analisar diz respeito a um ADC de 12 bits. O outro parâmetro importante é o modo como os dados são transferidos para um microcontrolador. A transferência pode fazer-se em série ou em paralelo. A transmissão em paralelo é mais rápida. Contudo, estes conversores são normalmente mais caros. A transmissão série é mais lenta, mas é mais barata e ocupa menos linhas do microcontrolador, por isso, é a favorita em muitas aplicações.

A grandeza de um sinal analógico pode, muitas vezes, ultrapassar o limite permitido num conversor ADC. Isto pode danificar o conversor. Para proteger a entrada, dois diodos estão ligados como se mostra no diagrama. Esta montagem, vai proteger a entrada do conversor, de tensões acima de 5v e abaixo de 0v.

No nosso exemplo, nós usamos um conversor ADC de 12 bits que é o LTC1286 (Linear Technology). O conversor está ligado ao microcontrolador através de três linhas: data, clock e CS (chip select - seleção de chip). A linha CS é usada para seleccionar um dispositivo de entrada, que é possível seleccionar outros dispositivos (tais como: registro de deslocamento de entrada, registro de deslocamento de saída, conversor analógico digital série) para ligar ao microcontrolador e permitir usar as mesmas linhas de dados.

O circuito em baixo, mostra como ligar um conversor ADC, uma referência e um display LCD a um microcontrolador. O display LCD foi adicionado para mostrar o resultado da conversão AD.



Ligação de um conversor AD com voltagem de referência a um microcontrolador

A Macro usada neste exemplo, chama-se LTC86 e encontra-se no ficheiro LTC1286.inc .



```
LTC86 macro Var_LO, Var_HI, Var

    Local Loop          ;Rótulo local
    Local Loop1

    clrf Var_LO         ; Limpar buffer de dados
    clrf Var_HI

    movlw .4           ; Iniciação do contador
    movwf Var

    bcf CS              ; Habilitar conversor ADC

    call CLK            ; Activar linha Dout
    call CLK            ; manter activa
    call CLK            ; bit de separação

Loop   rif Var_HI,f     ; Rodar Var_HI um bit para a esquerda

    btfss Data         ; linha Dout = '1' ?
    bcf Var_HI,0       ; não, limpar bit '0' na variável Var_HI
    btfsc Data         ; linha Dout = '0' ?
    bsf Var_HI,0       ; não, pôr a 'um' o bit '0' na variável Var_HI

    call CLK

    decfsz Var,f       ; Recebidos os 4 bits?
    goto Loop          ; não, repetir

    movlw .8           ; Iniciação do contador
    movwf Var

Loop1  rif Var_LO,f     ; Rodar 'Var_LO', um bit para a esquerda

    btfss Data         ; linha Dout = '1' ?
    bcf Var_LO,0       ; não, limpar bit 0 em Var_LO
    btfsc Data         ; linha Dout = '0' ?
    bsf Var_LO,0       ; não, pôr a 'um' o bit '0' de Var_LO

    call CLK

    decfsz Var,f       ; Recebidos os oito bits?
    goto Loop1         ; Não, repetir

    bsf CS              ; Inibir o conversor AD

    endm

CLK    bsf Clock        ; tempo de clock
      nop
      nop
      nop
      bcf Clock

      return
```

A Macro LTC86 tem três argumentos:

LTC macro Var_LO, Var_HT, Var

A variável **Var_LO** é onde o **byte menos significativo da conversão** é guardado

A variável **Var_HI** é onde o **byte mais significativo da conversão** é guardado

Var contador de ciclos

Exemplo: LTC86 LO, HI, Count

Os quatro bits do valor mais alto estão na variável **HI** e os oito bits menos significativos da conversão estão na variável **LO**. **Count** é uma variável auxiliar para contar o número de passagens no ciclo.

O exemplo que se segue, mostra como as macros são usadas no programa. O programa lê o valor de um conversor ADC e mostra-o num display LCD. O resultado é dado em degraus. Isto é, para 0V, o resultado é 0 e para 5V é 4095.



```
;***** Escolher e configurar o microcontrolador *****
PROCESSOR 16F84
#include "p16f84.inc"
    __CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC

;***** Declarar variáveis *****

Cblock 0x0C                ; Início da RAM
LCDbuf                    ; Pertencem às macros 'LCDxxxx'
LCDtemp
WCYCLE                    ; Pertence à macro 'WAITX'
PRESCwait

TEMP1                      ; Pertencem à macro 'LCDval_16'
TEMP2
TEMP3
LO                          ; bits menos significativos
HI                          ; bits mais significativos
LO_TEMP                    ; buffer para LO
HI_TEMP                    ; buffer para HI
Bcheck

Count                      ; Pertence à macro 'LTC86'
Pointer                    ; Ponteiro para os caracteres na mensagem
endc

;***** Declarar o hardware *****

#define Data    PORTA,0
#define Clock   PORTA,1
#define CS      PORTA,2

LCDtris equ    TRISB
LCDport equ    PORTB

;***** Estrutura da memória de programa *****

ORG    0x00                ; Vector de reset
goto   Main

ORG    0x04                ; Vector de interrupção
goto   Main                ; Não há rotina de interrupção

Messages                ; Início das mensagens

    movwf PCL

                                ; Mostrar mensagens

Message0 dt "** LTC1286 *"
Message1 dt "A/D rezul.:"

END_messages            ; Fim de mensagens

#include "bank.inc"        ; Ficheiros auxiliares
#include "ltc1286.inc"
#include "wait.inc"
#include "lcd.inc"
#include "lcdv16.inc"
#include "print.inc"

Main                    ; Início do programa

    BANK1                    ; Iniciação do Porto A
    movlw 0xf1                ; TRISA <- 0xf1
    movwf TRISA
    BANK0

    LCDinit                    ; Iniciação do LCD

    clrf PORTA                ; PORTA <- 0x00

    LCD_DDAdr .3

    PRINT Messages, Message0, Message1, Pointer, LCDw
    ; Ler valor na entrada do conversor A/D

Loop
    LTC86                    LO, HI, Count

                                ; Mostrar resultado da conversão A/D
                                ; no display LCD

    call Out
    goto Loop                ; Repetir loop

Out
    LCDline 2                    ; Segunda linha

    PRINT Messages, Message1, END_messages, Pointer, LCDw

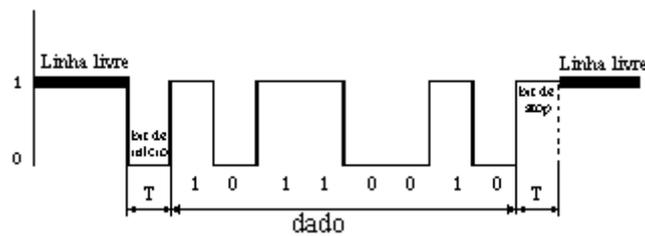
    LCDval_16

    return

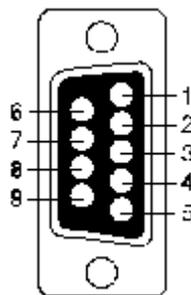
End                        ; Fim de programa
```

Comunicação Série

SCI é a abreviatura para Serial Communication Interface (Interface de Comunicação Série) e existe na maioria dos microcontroladores. No caso do PIC16F84 o SCI não está disponível em hardware, mas pode ser implementado por software.



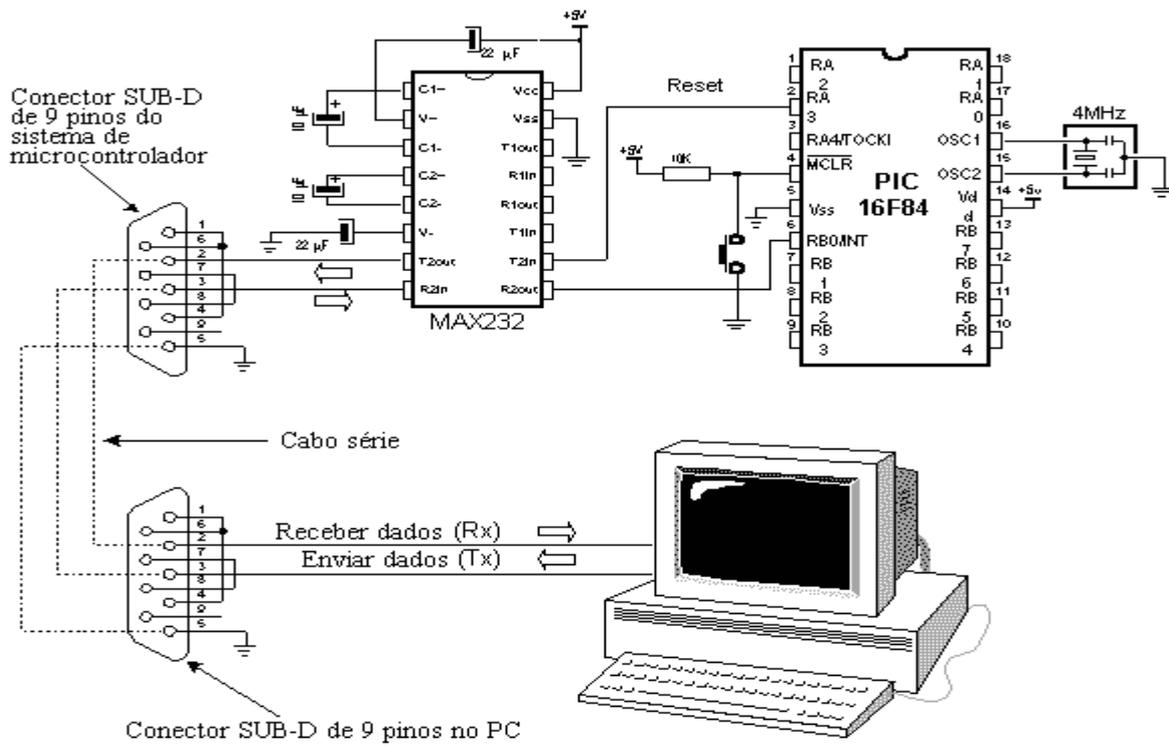
Tal como no caso da comunicação implementada por hardware, nós vamos usar o standard NRZ (Não Retorno a Zero) e o formato conhecido por 8 (9)-N-1, ou seja, 8 ou 9 bits de dados, sem bit de paridade e com um bit de stop. No caso de **linha livre** (sem estar a transmitir dados) o estado é de **nível lógico 'um'**. O início de transmissão ou **bit de início** (Start Bit), tem o **nível lógico zero**. Os bits que se seguem ao bit de início são os bits de dados (o primeiro bit é o menos significativo) e, finalmente, aparece o **bit de stop** que tem o **nível lógico 'um'**. A duração do bit de stop 'T' depende da velocidade de transmissão e é ajustada de acordo com as necessidades da transmissão. Para uma transmissão à velocidade de 9600 bauds, T tem o valor de 104µS.



Designações dos pinos no conector RS232

Para podermos ligar um microcontrolador a um porto série de um computador PC, nós precisamos ajustar o nível dos sinais, só assim a comunicação poderá ter lugar. O nível do sinal num PC, é de -10V para o nível lógico um e +10V para nível lógico zero. Como os níveis lógicos num microcontrolador são de +5V para o nível lógico um e 0V para o nível lógico zero, nós precisamos de um andar intermédio para converter estes níveis. Um circuito integrado projetado especialmente para executar este trabalho, é o MAX232. Este circuito integrado recebe sinais de -10 e +10V e converte-os em 5V e 0V, respectivamente.

O circuito para este interface, mostra-se no diagrama em baixo:



Ligação de um microcontrolador a um PC utilizando o CI de interface MAX232

O ficheiro RS232.inc contém um grupo de macros usadas na comunicação série.



```
;***** Declarar o hardware *****
#define RXport PORTB,0
#define RXtris TRISB,0

;***** Declarar constantes *****
CONSTANT LF = d'10' ; Linha seguinte
CONSTANT CR = d'13' ; Posição de início de linha
CONSTANT TAB = d'9' ; Tabular
CONSTANT BS = d'8' ; Um espaço atrás

;***** Macros *****
RS232init macro
    call RS_init
endm

SEND macro S_string ; "send'x' ", enviar caracteres ASCII
    movlw S_string
    call SENDsub
endm

SENDw macro
    call SENDsub
endm

RECEIVE macro
    call RECsub
endm

;***** Subprogramas *****
RS_init bcf TXport
        BANK1
        clrf OPTION_REG
        bcf TXtris ;pino Tx
        bsf RXtris ;entrada Rx com pull-up
        bsf TXport ;O estado inicial na linha Tx é "1" lógico
        movlw b'10010000'
        movwf INTCON ;Habilitar a interrupção em RB0
        RETURN

SENDsub movwf TXD ;Registo de dados associado a Tx
        bcf TXport ;bit de início
        movlw 0x08
        movwf RS_TEMP1 ;O número de bits a enviar 9600-8-N-1
        call S_Wait
SENDa btfsc TXD,0 ;enviar primeiro o bit menos significativo
        goto SENDb
        bcf TXport
        goto SENDc
SENDb bsf TXport
SENDc rrf TXD,1
        call S_Wait
        decfsz RS_TEMP1,1
        goto SENDa
        goto SENDd
SENDd bsf TXport ;bit de paragem (stop)
        call S_Wait ;Re-sincronização
        call S_Wait
        RETURN

S_Wait movlw 0x1E ;Pausa entre dois bits
        movwf RS_TEMP2 ;9600 baud => 104uS tempo de bit de envio
        goto X_Wait

Rs_Wait movlw 0x0C ;Pausa de 52uS para tempo de início
        movwf RS_TEMP2 ;na recepção
        goto X_Wait

R_Wait movlw 0x1D ;Pausa entre dois bits na recepção
        movwf RS_TEMP2
        goto X_Wait

X_Wait decfsz RS_TEMP2,1
        goto X_Wait
        RETURN

RECsub call Rs_Wait
        btfsc RXport
        goto REENTRY ;Não é o bit de início
        movlw 0x08
        movwf RS_TEMP1 ;Número de bits a receber 9600-8-N-1
        goto RECa ;Pausa
RECa call R_Wait
        btfss RXport
        goto RECb
        bsf RXD,0x07
        goto RECc
RECb bcf RXD,0x07
RECC decfsz RS_TEMP1,0 ; Ignorar inst. seguinte, se RS_TEMP=1
        rrf RXD,1 ; Repetir sete vezes
        decfsz RS_TEMP1,1
        goto RECa
        call R_Wait
        btfss RXport ;Verificar se é o bit de stop
        clrf RXD
        RETURN

REENTRY clrf RXD ;Dados inválidos
        goto ISRend
```

Utilização das macros:

RS232init Macro para iniciar o pino RB0 como linha de transmissão de dados (pino – TX).

Exemplo: RS232init

SEND S_string Para enviar um caracter ASCII. O argumento é o caracter ASCII

Exemplo: SEND 'g'

SENDw Enviar o dado contido no registro W.

Exemplo:

```
    movlw 't'

    SENDw
```

RECEIVE macro na rotina de interrupção, recebe dados pelo interface RS232 e guarda-os no registro RXD

Exemplo:

```
ORG    0x04
        goto  ISR
ISR     bcf   INTCON,GIE
        btfsc INTCON,GIE
        goto  ISR
        RECEIVE
        :
        :
ISRend  bcf   INTCON,INTF
        RETFIE
```

No início do programa principal, nós necessitamos de declarar as variáveis RS_TEMP1, RE_TEMP2, TXD, RXD e o pino TX no microcontrolador. Depois de fazer o reset do microcontrolador o programa envia uma mensagens de boas-vindas para o computador PC: **\$ PIV16F84 na linha \$** e está pronto para receber dados através da linha RX.

Nós podemos enviar e receber dados de e para o computador PC através de um programa de comunicações. Quando o microcontrolador recebe um dado, ele devolve uma mensagem para o monitor: Caracter recebido do PIC16F84: x, confirmando que a recepção teve sucesso.

Programa principal:



```
;***** Escolher e configurar o microcontrolador *****
PROCESSOR 16f84
#include "p16f84.inc"

    __CONFIG __CP_OFF & __WDT_OFF & __PWRTE_ON & __XT_OSC

;***** Declarar variáveis *****

    Cblock 0x0C          ; Início da RAM
    RS_TEMP1           ; Pertencem às funções 'RS232'
    RS_TEMP2
    TXD
    RXD
    Pointer            ; Ponteiro para os caracteres da mensagem
    endc

;***** Declarar hardware *****

    #define TXport PORTA,3
    #define TXtris TRISA,3

    LCDtris equ TRISB
    LCDport equ PORTB

;***** Estrutura da memória de programa *****

    ORG 0x00           ; Vector de reset
    goto Main

    ORG 0x04           ; Vector de interrupção
    goto ISR           ; Saltar para a rotina de interrupção

Messages

    movwf PCL          ; Mensagens a mostrar no monitor
                       ; e enviadas pela porta RS232

Message0 dt "Received character from PIC16F84: "
Message1 dt "$ PIC16F84 on line $"

END_messages          ; Fim de mensagens

    #include "bank.inc"          ; Ficheiros auxiliares
    #include "rs232.inc"
    #include "print.inc"

;***** Rotina de interrupção *****

ISR
    bcf INTCON,GIE          ; Inibir todas as interrupções
    btfsc INTCON,GIE        ; Verificar se estão inibidas
    goto ISR

    RECEIVE                 ; Guardar o dado recebido, na variável RX

    SEND TAB                ; Enviar Message0 através da ligação RS232

    PRINT Messages, Message0, Message1, Pointer, SENDw

    movfw RXD              ; Devolver dado recebido para confirmar que
    SENDw                  ; a recepção teve êxito

    SEND CR                ; Encostar à esquerda
    SEND LF                ; linha seguinte
    SEND LF

ISRend bcf INTCON,INTF ; Limpar flag de interrupção RB0/INT
        RETFIE           ; Habilitar as interrupções

Main
        ; Início do programa

        RS232init        ; Iniciação de RS232

        ; Enviar Message1

        PRINT Messages, Message1, END_messages, Pointer, SENDw

        SEND CR          ; Encostar à esquerda
        SEND LF          ; Mudar de linha
        SEND LF

Loop
    goto Loop          ; Ciclo infinito
End                   ; Fim de programa
```

Apêndice A

Conjunto de Instruções

- [A.1 MOVLW](#)
- [A.2 MOVWF](#)
- [A.3 MOVF](#)
- [A.4 CLRW](#)
- [A.5 CLRf](#)
- [A.6 SWAPF](#)
- [A.7 ADDLW](#)
- [A.8 ADDWF](#)
- [A.9 SUBLW](#)
- [A.10 SUBWF](#)
- [A.11 ANDLW](#)
- [A.12 ANDWF](#)
- [A.13 IORLW](#)
- [A.14 IORWF](#)
- [A.15 XORLW](#)
- [A.16 XORWF](#)
- [A.17 INCF](#)
- [A.18 DECF](#)
- [A.19 RLF](#)
- [A.20 RRF](#)
- [A.21 COMF](#)
- [A.22 BCF](#)
- [A.23 BSF](#)
- [A.24 BTFSC](#)
- [A.25 BTFSS](#)
- [A.26 INCFSZ](#)
- [A.27 DECFSZ](#)
- [A.28 GOTO](#)
- [A.29 CALL](#)
- [A.30 RETURN](#)
- [A.31 RETLW](#)
- [A.32 RETFIE](#)
- [A.33 NOP](#)
- [A.34 CLRWDI](#)
- [A.35 SLEEP](#)

A.1 MOVLW Escrever constante no registro W

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> MOVLW <i>k</i>
Descrição:	A constante de 8-bits <i>k</i> vai para o registro W .
Operação:	$k \Rightarrow (W)$
Operando:	$0 \leq k \leq 255$
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	MOVLW 0x5A Depois da instrução: W = 0x5A
Exemplo 2:	MOVLW REGISTAR Antes da instrução: W = 0x10 e REGISTAR = 0x40 Depois da instrução: W = 0x40

A.2 MOVWF Copiar W para f

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> MOVWF <i>f</i>
Descrição:	O conteúdo do registro W é copiado para o registro f
Operação:	$W \Rightarrow (f)$
Operando:	$0 \leq f \leq 127$
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	MOVWF OPTION_REG Antes da instrução: OPTION_REG = 0x20 W = 0x40 Depois da instrução: OPTION_REG = 0x40 W = 0x40
Exemplo 2:	MOVWF INDF Antes da instrução: W = 0x17 FSR = 0xC2

	Conteúdo do endereço 0xC2 = 0x00
	Depois da instrução: W = 0x17
	FSR = 0xC2
	Conteúdo do endereço 0xC2 = 0x17

A.3 MOVF Copiar f para d

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> MOVF f , d
Descrição:	O conteúdo do registro f é guardado no local determinado pelo operando d Se d = 0 , o destino é o registro W Se d = 1 , o destino é o próprio registro f A opção d = 1 , é usada para testar o conteúdo do registro f , porque a execução desta instrução afeta a flag Z do registro STATUS.
Operação:	f ⇒ (d)
Operando:	$0 \leq f \leq 127, d \in [0, 1]$
Flag:	Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	MOVF FSR, 0 Antes da instrução: FSR = 0xC2 W = 0x00 Depois da instrução: W = 0xC2 Z = 0
Exemplo 2:	MOVF INDF, 0 Antes da instrução: W = 0x17 FSR = 0xC2 conteúdo do endereço 0xC2 = 0x00 Depois da instrução: W = 0x00 FSR = 0xC2 conteúdo do endereço 0xC2 = 0x00 Z = 1

A.4 CLRW Escrever 0 em W

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> CLRW
Descrição:	O conteúdo do registro W passa para 0 e a flag Z do registro STATUS toma o valor 1.
Operação:	0 ⇒ (W)
Operando:	-
Flag:	Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo:	CLRW Antes da instrução: W = 0x55

Depois da instrução: W = 0x00
Z = 1

A.5 CLRF Escrever 0 em f

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> CLRF f
Descrição:	O conteúdo do registro 'f' passa para 0 e a flag Z do registro STATUS toma o valor 1.
Operação:	0 ⇒ f
Operando:	0 ≤ f ≤ 127
Flag:	Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	CLRF STATUS Antes da instrução: STATUS = 0xC2 Depois da instrução: STATUS = 0x00 Z = 1
Exemplo 2:	CLRF INDF Antes da instrução: FSR = 0xC2 conteúdo do endereço 0xC2 = 0x33 Depois da instrução: FSR = 0xC2 conteúdo do endereço 0xC2 = 0x00 Z = 1

A.6 SWAPF Copiar o conteúdo de f para d, trocando a posição dos 4 primeiros bits com a dos 4 últimos

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> SWAPF f, d
Descrição:	Os 4 bits + significativos e os 4 bits – significativos de f, trocam de posições. Se d = 0 , o resultado é guardado no registro W Se d = 1 , o resultado é guardado no registro f
Operação:	f <0:3> ⇒ d <4:7>, f <4:7> ⇒ d <0:3> ,
Operando:	0 ≤ f ≤ 127, d ∈ [0, 1]
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	SWAPF REG, 0 Antes da instrução: REG = 0xF3 Depois da instrução: REG = 0xF3 W = 0x3F
Exemplo 2:	SWAPF REG, 1 Antes da instrução: REG = 0xF3 Depois da instrução: REG = 0x3F

A.7 ADDLW Adicionar W a uma constante

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> ADDLW k
Descrição:	O conteúdo do registro W , é adicionado à constante de 8-bits k e o resultado é guardado no registro W .
Operação:	$(W) + k \Rightarrow W$
Operando:	$0 \leq k \leq 255$
Flag:	C, DC, Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	ADDLW 0x15 Antes da instrução: W = 0x10 Depois da instrução: W = 0x25
Exemplo 2:	ADDLW REG Antes da instrução: W = 0x10 REG = 0x37 Depois da instrução: W = 0x47

A.8 ADDWF Adicionar W a f

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> ADDWF f, d
Descrição:	Adicionar os conteúdos dos registros W e f Se d=0 , o resultado é guardado no registro W Se d=1 , o resultado é guardado no registro f
Operação:	$(W) + (f) \Rightarrow d, d \in [0, 1]$
Operando:	$0 \leq f \leq 127$
Flag:	C, DC, Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	ADDWF FSR, 0 Antes da instrução: W = 0x17 FSR = 0xC2 Depois da instrução: W = 0xD9 FSR = 0xC2
Exemplo 2:	ADDWF INDF, 0 Antes da instrução: W = 0x17 FSR = 0xC2 conteúdo do endereço 0xC2 = 0x20 Depois da instrução: W = 0x37 FSR = 0xC2 Conteúdo do endereço 0xC2 = 0x20

A.9 SUBLW Subtrair W a uma constante

Sintaxe:	[rótulo] SUBLW k
Descrição:	O conteúdo do registro W , é subtraído à constante k e, o resultado, é guardado no registro W .
Operação:	$k - (W) \Rightarrow W$
Operando:	$0 \leq k \leq 255$
Flag:	C, DC, Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	SUBLW 0x03
	Antes da instrução: W= 0x01, C = x, Z = x
	Depois da instrução: W= 0x02, C = 1, Z = 0 Resultado > 0
	Antes da instrução: W= 0x03, C = x, Z = x
	Depois da instrução: W= 0x00, C = 1, Z = 1 Resultado = 0
	Antes da instrução: W= 0x04, C = x, Z = x
	Depois da instrução: W= 0xFF, C = 0, Z = 0 Resultado < 0
Exemplo 2:	SUBLW REG
	Antes da instrução: W = 0x10
	REG = 0x37
	Depois da instrução: W = 0x27
	C = 1 Resultado > 0

A.10 SUBWF Subtrair W a f

Sintaxe:	[rótulo] SUBWF f, d
Descrição:	O conteúdo do registro W é subtraído ao conteúdo do registro f Se d=0 , o resultado é guardado no registro W Se d=1 , o resultado é guardado no registro f
Operação:	$(f) - (W) \Rightarrow d$
Operando:	$0 \leq f \leq 127, d \in [0, 1]$
Flag:	C, DC, Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo:	SUBWF REG, 1
	Antes da instrução: REG= 3, W= 2, C = x, Z = x
	Depois da instrução: REG= 1, W= 2, C = 1, Z = 0 Resultado > 0
	Antes da instrução: REG= 2, W= 2, C = x, Z = x
	Depois da instrução: REG=0, W= 2, C = 1, Z = 1 Resultado = 0
	Antes da instrução: REG=1, W= 2, C = x, Z = x
	Depois da instrução: REG= 0xFF, W=2, C = 0, Z = 0 Resultado < 0

A.11 ANDLW Fazer o “E” lógico de W com uma constante

Sintaxe:	[<i>rótulo</i>] ANDLW k
Descrição:	É executado o “E” lógico do conteúdo do registro W , com a constante k O resultado é guardado no registro W .
Operação:	(W) .AND. k ⇒ W
Operando:	$0 \leq k \leq 255$
Flag:	Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	ANDLW 0x5F Antes da instrução: W= 0xA3 ; 0101 1111 (0x5F) ; 1010 0011 (0xA3) Depois da instrução: W= 0x03; 0000 0011 (0x03)
Exemplo 2:	ANDLW REG Antes da instrução: W = 0xA3 ; 1010 0011 (0xA3) REG = 0x37 ; 0011 0111 (0x37) Depois da instrução: W = 0x23 ; 0010 0011 (0x23)

A.12 ANDWF Fazer o “E” lógico de W com f

Sintaxe:	[<i>rótulo</i>] ANDWF f, d
Descrição:	Faz o “E” lógico dos conteúdos dos registros W e f Se d=0 , o resultado é guardado no registro W Se d=1 , o resultado é guardado no registro f
Operação:	(W) .AND. (f) ⇒ d
Operando:	$0 \leq f \leq 127, d \in [0, 1]$
Flag:	Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	ANDWF FSR, 1 Antes da instrução: W= 0x17, FSR= 0xC2; 0001 1111 (0x17) ; 1100 0010 (0xC2) Depois da instrução: W= 0x17, FSR= 0x02 ; 0000 0010 (0x02)
Exemplo 2:	ANDWF FSR, 0 Antes da instrução: W= 0x17, FSR= 0xC2; 0001 1111 (0x17) ; 1100 0010 (0xC2) Depois da instrução: W= 0x02, FSR= 0xC2; 0000 0010 (0x02)

A.13 IORLW Fazer o “OU” lógico de W com uma constante

Sintaxe:	[<i>rótulo</i>] IORLW k
Descrição:	É executado o “OU” lógico do conteúdo do registro W , com a constante

	de 8 bits k , o resultado é guardado no registro W .
Operação:	$(W) .OR. k \Rightarrow W$
Operando:	$0 \leq k \leq 255$
Flag:	Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	IORLW 0x35
	Antes da instrução: W= 0x9A
	Depois da instrução: W= 0xBF
	Z= 0
Exemplo 2:	IORLW REG
	Antes da instrução: W = 0x9A
	conteúdo de REG = 0x37
	Depois da instrução: W = 0x9F
	Z = 0

A.14 IORWF Fazer o “OU” lógico de W com f

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> IORWF f, d
Descrição:	Faz o “OU” lógico dos conteúdos dos registros W e f Se d=0 , o resultado é guardado no registro W Se d=1 , o resultado é guardado no registro f
Operação:	$(W) .OR. (f) \Rightarrow d$
Operando:	$0 \leq f \leq 127, d \in [0, 1]$
Flag:	Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	IORWF REG, 0
	Antes da instrução: REG= 0x13, W= 0x91
	Depois da instrução: REG= 0x13, W= 0x93
	Z= 0
Exemplo 2:	IORWF REG, 1
	Antes da instrução: REG= 0x13, W= 0x91
	Depois da instrução: REG= 0x93, W= 0x91
	Z= 0

A.15 XORLW “OU- EXCLUSIVO” de W com uma constante

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> XORLW k
Descrição:	É executada a operação “OU-Exclusivo” do conteúdo do registro W , com a constante k . O resultado é guardado no registro W .
Operação:	$(W) .XOR. k \Rightarrow W$
Operando:	$0 \leq k \leq 255$
Flag:	Z
Número de	1

Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	INCF REG, 1
	Antes da instrução: REG = 0xFF Z = 0
	Depois da instrução: REG = 0x00 Z = 1
Exemplo 2:	INCF REG, 0
	Antes da instrução: REG = 0x10 W = x Z = 0
	Depois da instrução: REG = 0x10 W = 0x11 Z = 0

A.18 DECF Decrementar f

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> DECF f , d
Descrição:	Decrementar de uma unidade, o conteúdo do registro f .
	Se d=0 , o resultado é guardado no registro W
	Se d=1 , o resultado é guardado no registro f
Operação:	$(f) - 1 \Rightarrow d$
Operando:	$0 \leq f \leq 127, d \in [0, 1]$
Flag:	Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	DECF REG, 1
	Antes da instrução: REG = 0x01 Z = 0
	Depois da instrução: REG = 0x00 Z = 1
Exemplo 2:	DECF REG, 0
	Antes da instrução: REG = 0x13 W = x Z = 0
	Depois da instrução: REG = 0x13 W = 0x12 Z = 0

A.19 RLF Rodar f para a esquerda através do Carry

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> RLF f , d
Descrição:	O conteúdo do registro f é rodado um espaço para a esquerda, através de C (flag do Carry).
	Se d=0 , o resultado é guardado no registro W

	Se d=1 , o resultado é guardado no registro f	
Operação:	$(f \langle n \rangle) \Rightarrow d \langle n+1 \rangle, f \langle 7 \rangle \Rightarrow C, C \Rightarrow d \langle 0 \rangle;$	
Operando:	$0 \leq f \leq 127, d \in [0, 1]$	
Flag:	C	
Número de palavras:	1	
Número de ciclos:	1	
Exemplo 1:	RLF REG, 0 Antes da instrução: REG = 1110 0110 C = 0 Depois da instrução: REG = 1110 0110 W = 1100 1100 C = 1	
Exemplo 2:	RLF REG, 1 Antes da instrução: REG = 1110 0110 C = 0 Depois da instrução: REG = 1100 1100 C = 1	

A.20 RRF Rodar f para a direita através do Carry

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> RRF f, d	
Descrição:	O conteúdo do registro f é rodado um espaço para a direita, através de C (flag do Carry). Se d=0 , o resultado é guardado no registro W Se d=1 , o resultado é guardado no registro f	
Operação:	$(f \langle n \rangle) \Rightarrow d \langle n-1 \rangle, f \langle 0 \rangle \Rightarrow C, C \Rightarrow d \langle 7 \rangle;$	
Operando:	$0 \leq f \leq 127, d \in [0, 1]$	
Flag:	C	
Número de palavras:	1	
Número de ciclos:	1	
Exemplo 1:	RRF REG, 0 Antes da instrução: REG = 1110 0110 W = x C = 0 Depois da instrução: REG = 1110 0110 W = 0111 0011 C = 0	
Exemplo 2:	RRF REG, 1 Antes da instrução: REG = 1110 0110 C = 0 Depois da instrução: REG = 0111 0011 C = 0	

A.21 COMF

Complementar f

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> COMF f, d
Descrição:	O conteúdo do registro f é complementado.
	Se d=0 , o resultado é guardado no registro W
	Se d=1 , o resultado é guardado no registro f
Operação:	$() \Rightarrow d$
Operando:	$0 \leq f \leq 127, d \in [0, 1]$
Flag:	Z
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	COMF REG, 0
	Antes da instrução: REG= 0x13 ; 0001 0011 (0x13)
	Depois da instrução: REG= 0x13 ; complementar
	W = 0xEC ; 1110 1100 (0xEC)
Exemplo 2:	COMF INDF, 1
	Antes da instrução: FSR= 0xC2
	conteúdo de FSR = (FSR) = 0xAA
	Depois da instrução: FSR= 0xC2
	conteúdo de FSR = (FSR) = 0x55

A.22 BCF

Pôr a “0” o bit b de f

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> BCF f, b
Descrição:	Limpar (pôr a '0'), o bit b do registro f
Operação:	$0 \Rightarrow f \langle b \rangle$
Operando:	$0 \leq f \leq 127, 0 \leq b \leq 7$
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	BCF REG, 7
	Antes da instrução: REG = 0xC7 ; 1100 0111 (0xC7)
	Depois da instrução: REG = 0x47 ; 0100 0111 (0x47)
Exemplo 2:	BCF INDF, 3
	Antes da instrução: W = 0x17
	FSR = 0xC2
	conteúdo do endereço em FSR (FSR) = 0x2F
	Depois da instrução: W = 0x17
	FSR = 0xC2
conteúdo do endereço em FSR (FSR) = 0x27	

A.23 BSF

Pôr a “1” o bit b de f

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> BSF f, b
Descrição:	Pôr a '1', o bit b do registro f

Operação:	$1 \Rightarrow f \langle b \rangle$
Operando:	$0 \leq f \leq 127, 0 \leq b \leq 7$
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	BSF REG, 7
	Antes da instrução: REG = 0x07 ; 0000 0111 (0x07)
	Depois da instrução: REG = 0x17 ; 1000 0111 (0x87)
Exemplo 2:	BSF INDF, 3
	Antes da instrução: W = 0x17
	FSR = 0xC2
	conteúdo do endereço em FSR (FSR) = 0x2F
	Depois da instrução: W = 0x17
	FSR = 0xC2
	conteúdo do endereço em FSR (FSR) = 0x28

A.24 BTFSC Testar o bit b de f, saltar por cima se for = 0

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> BTFSC f, b
Descrição:	Se o bit b do registro f for igual a zero, ignorar instrução seguinte. Se este bit b for zero, então, durante a execução da instrução atual, a execução da instrução seguinte não se concretiza e é executada, em vez desta, uma instrução NOP, fazendo com que a instrução atual, demore dois ciclos de instrução a ser executada.
Operação:	Ignorar a instrução seguinte se $(f \langle b \rangle) = 0$
Operando:	$0 \leq f \leq 127, 0 \leq b \leq 7$
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1 ou 2 dependendo do valor lógico do bit b
Exemplo:	LAB_01 BTFSC REG, 1; Testar o bit 1 do registro REG
	LAB_02 ; Ignorar esta linha se for 0
	LAB_03 ; Executar esta linha depois da anterior, se for 1
	Antes da instrução, o contador de programa contém o endereço LAB_01.
	Depois desta instrução, se o bit 1 do registro REG for zero, o contador de programa contém o endereço LAB_03. Se o bit 1 do registro REG for 'um', o contador de programa contém o endereço LAB_02.

A.25 BTFSS Testar o bit b de f, saltar por cima se for = 1

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> BTFSS f, b
Descrição:	Se o bit b do registro f for igual a um, ignorar instrução seguinte. Se durante a execução desta instrução este bit b for um, então, a execução da instrução seguinte não se concretiza e é executada, em vez desta, uma instrução NOP, assim, a instrução atual demora dois

	ciclos de instrução a ser executada.
Operação:	Ignorar a instrução seguinte se $(f < b) = 1$
Operando:	$0 \leq f \leq 127, 0 \leq b \leq 7$
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1 ou 2 dependendo do valor lógico do bit b
Exemplo:	LAB_01 BTFSS REG, 1; Testar o bit 1 do registro REG LAB_02 ; Ignorar esta linha se for 1 LAB_03 ; Executar esta linha depois da anterior, se for 0 Antes da instrução, o contador de programa contém o endereço LAB_01. Depois desta instrução, se o bit 1 do registro REG for 'um', o contador de programa contém o endereço LAB_03. Se o bit 1 do registro REG for zero, o contador de programa contém o endereço LAB_02.

A.26 INCFSZ Incrementar f, saltar por cima se der = 0

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> INCFSZ f, d
Descrição:	Descrição: O conteúdo do registro f é incrementado de uma unidade. Se d = 0 , o resultado é guardado no registro W . Se d = 1 , o resultado é guardado no registro f . Se o resultado do incremento for = 0, a instrução seguinte é substituída por uma instrução NOP, fazendo com que a instrução atual, demore dois ciclos de instrução a ser executada.
Operação:	$(f) + 1 \Rightarrow d$
Operando:	$0 \leq f \leq 127, d \in [0, 1]$
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1 ou 2 dependendo do resultado
Exemplo:	LAB_01 INCFSZ REG, 1; Incrementar o conteúdo de REG de uma unidade LAB_02 ; Ignorar esta linha se resultado = 0 LAB_03 ; Executar esta linha depois da anterior, se der 0 Conteúdo do contador de programa antes da instrução, PC = endereço LAB_01. Se o conteúdo do registro REG depois de a operação $REG = REG + 1$ ter sido executada, for $REG = 0$, o contador de programa aponta para o rótulo de endereço LAB_03. Caso contrário, o contador de programa contém o endereço da instrução seguinte, ou seja, LAB_02.

A.27 DECFSZ Decrementar f, saltar por cima se der = 0

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> DECFSZ f, d
Descrição:	O conteúdo do registro f é decrementado uma unidade.

	Se d = 0 , o resultado é guardado no registro W .
	Se d = 1 , o resultado é guardado no registro f .
	Se o resultado do decremento for = 0, a instrução seguinte é substituída por uma instrução NOP, fazendo assim com que a instrução atual, demore dois ciclos de instrução a ser executada.
Operação:	(f) - 1 ⇒ d
Operando:	$0 \leq f \leq 127, d \in [0, 1]$
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1 ou 2 dependendo do resultado
Exemplo:	LAB_01 DECFSZ REG, 1; Decrementar o conteúdo de REG de uma unidade LAB_02 ; Ignorar esta linha se resultado = 0 LAB_03 ; Executar esta linha depois da anterior, se der 0 Conteúdo do contador de programa antes da instrução, PC = endereço LAB_01. Se o conteúdo do registro REG depois de a operação $REG = REG - 1$ ter sido executada, for $REG = 0$, o contador de programa aponta para o rótulo de endereço LAB_03. Caso contrário, o contador de programa contém o endereço da instrução seguinte, ou seja, LAB_02.

A.28 GOTO Saltar para o endereço

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> GOTO k
Descrição:	Salto incondicional para o endereço k .
Operação:	$k \Rightarrow PC\langle 10:0 \rangle, (PCLATH\langle 4:3 \rangle) \Rightarrow PC\langle 12:11 \rangle$
Operando:	$0 \leq k \leq 2048$
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	2
Exemplo:	LAB_00 GOTO LAB_01; Saltar para LAB_01 : LAB_01 Antes da instrução: PC = endereço LAB_00 Depois da instrução: PC = endereço LAB_01

A.29 CALL Chamar um programa

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> CALL k
Descrição:	Esta instrução, chama um subprograma. Primeiro, o endereço de retorno (PC+1) é guardado na pilha, a seguir, o operando k de 11 bits, correspondente ao endereço de início do subprograma, vai para o contador de programa (PC).
Operação:	$PC+1 \Rightarrow$ Topo da pilha (TOS – Top Of Stack)
Operando:	$0 \leq k \leq 2048$

Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	2
Exemplo:	LAB_00 CALL LAB_02 ; Chamar a sub-rotina LAB_02
	LAB_01 :
	:
	LAB_02
	Antes da instrução: PC = endereço LAB_00
	TOS = x
	Depois da instrução: PC = endereço LAB_02
	TOS = LAB_01

A.30 RETURN Retorno de um subprograma

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> RETURN
Descrição:	O conteúdo do topo da pilha é guardado no contador de programa.
Operação:	TOS \Rightarrow Contador de programa PC
Operando:	-
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	2
Exemplo:	RETURN
	Antes da instrução: PC = x
	TOS = x
	Depois da instrução: PC = TOS
	TOS = TOS - 1

A.31 RETLW Retorno de um subprograma com uma constante em W

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> RETLW k
Descrição:	A constante k de 8 bits, é guardada no registro W .
Operação:	(k) \Rightarrow W ; TOS \Rightarrow PC
Operando:	$0 \leq k < 255$
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	2
Exemplo:	RETLW 0x43
	Antes da instrução: W = x
	PC = x
	TOS = x
	Depois da instrução: W = 0x43
	PC = TOS
	TOS = TOS - 1

A.32 RETFIE Retorno de uma rotina de interrupção

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> RETLW k
Descrição:	Retorno de uma sub-rotina de atendimento de interrupção. O conteúdo do topo de pilha (TOS), é transferido para o contador de programa (PC). Ao mesmo tempo, as interrupções são habilitadas, pois o bit GIE de habilitação global das interrupções, é posto a '1'.
Operação:	TOS \Rightarrow PC ; 1 \Rightarrow GIE
Operando:	-
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	2
Exemplo:	RETFIE
	Antes da instrução: PC = x
	GIE = 0
	Depois da instrução: PC = TOS
	GIE = 1

A.33 NOP Nenhuma operação

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> NOP
Descrição:	Nenhuma operação é executada, nem qualquer flag é afetada.
Operação:	-
Operando:	-
Flag:	-
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo:	NOP

A.34 CLRWDT Iniciar o temporizador do watchdog

Sintaxe:	<i>[rótulo]</i> CLRWDT
Descrição:	O temporizador do watchdog é repostado a zero. O prescaler do temporizador de Watchdog é também repostado a 0 e, também, os bits do registro de estado e são postos a 'um'.
Operação:	0 \Rightarrow WDT
	0 \Rightarrow prescaler de WDT
	1 \Rightarrow
	1 \Rightarrow
Operando:	-
Flag:	
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo:	CLRWDT

	Antes da instrução: Contador de WDT = x
	Prescaler de WDT = 1:128
	Depois da instrução: Contador do WDT = 0x00
	Prescale do WDT = 0

A.35 SLEEP

Modo de repouso

Sintaxe:	[<i>rótulo</i>] SLEEP
Descrição:	O processador entra no modo de baixo consumo. O oscilador pára. O bit (Power Down) do registo Status é reposto a '0'. O bit (Timer Out) é posto a '1'. O temporizador de WDT (Watchdog) e o respectivo prescaler são repostos a '0'.
Operação:	0 ⇒ WDT 0 ⇒ prescaler do WDT 1 ⇒ <i>TO</i> 0 ⇒ <i>PD</i>
Operando:	-
Flag:	
Número de palavras:	1
Número de ciclos:	1
Exemplo 1:	SLEEP Antes da instrução: Contador do WDT = x Prescaler do WDT = x Depois da instrução: Contador do WDT = 0x00 Prescaler do WDT = 0

Apêndice B

MPLAB

[Introdução](#)

[5.1 Instalando o pacote do programa MPLAB](#)

[5.2 Introdução ao MPLAB](#)

[5.3 Escolhendo o modo de desenvolvimento](#)

[5.4 Implementando um projecto](#)

[5.5 Criando um novo ficheiro Assembler](#)

[5.6 Escrevendo um programa](#)

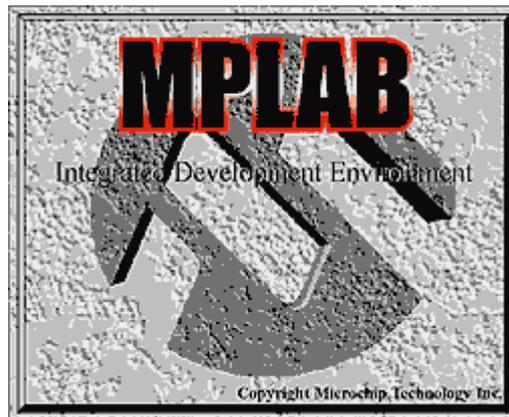
[5.7 Simulador MPSIM](#)

[5.8 Barra de ferramentas](#)

Introdução

O MPLAB é um pacote de programas que correm no Windows e que tornam mais fácil escrever ou desenvolver um programa. Pode descrever-se ainda melhor como sendo um ambiente de desenvolvimento para uma linguagem de programação standard e destinado a correr num computador pessoal (PC). Anteriormente, as operações incidiam sobre uma linha de instrução e contemplavam um grande número de parâmetros, até que se introduziu o IDE "Integrated Development Environment" (Ambiente Integrado de Desenvolvimento) e as operações tornaram-se mais fáceis, usando o MPLAB. Mesmo agora, as preferências das pessoas divergem e alguns programadores preferem ainda os editores standard e os intérpretes linha a linha. Em qualquer dos casos, o programa escrito é legível e uma ajuda bem documentada está disponível.

5.1 Instalando o programa - MPLAB



O MPLAB compreende várias partes:

- Agrupamento de todos os ficheiros do mesmo projecto, num único projecto (Project Manager)
- Escrever e processar um programa (Editor de Texto)
- Simular o funcionamento no microcontrolador do programa que se acabou de escrever (Simulador)

Além destes, existem sistemas de suporte para os produtos da Microchip, tais como o PICSTART Plus e ICD (In Circuit Debugger - Detecção de erros com o microcontrolador a funcionar). Este livro não aborda estes dois dispositivos que são opcionais.

Os requisitos mínimos para um computador que possa correr o MPLAB, são:

- Computado PC com microprocessador 486 ou superior
- Microsoft Windows 3.1x, Windows 95 ou versões mais recente do sistema operativo Windows.
- Placa gráfica VGA
- 8MB de memória (32MB recomendados)
- 20MB de espaço no disco duro
- Rato

Antes de iniciarmos o MPLAB, temos primeiro que o instalar. A instalação é o processo de copiar os ficheiros do MPLAB para o disco duro do computador, a partir do CD respectivo. Existe uma opção em cada nova janela que permite regressar à anterior. Assim, os erros não constituem problema e o trabalho de instalação, torna-se mais fácil. Este modo de instalação é comum à maioria dos programas Windows. Primeiro, aparece uma janela de boas vindas, a seguir pode-se escolher entre as opções indicadas e, no fim do processo, obtém-se uma mensagem que informa de que o programa está instalado e pronto a funcionar.

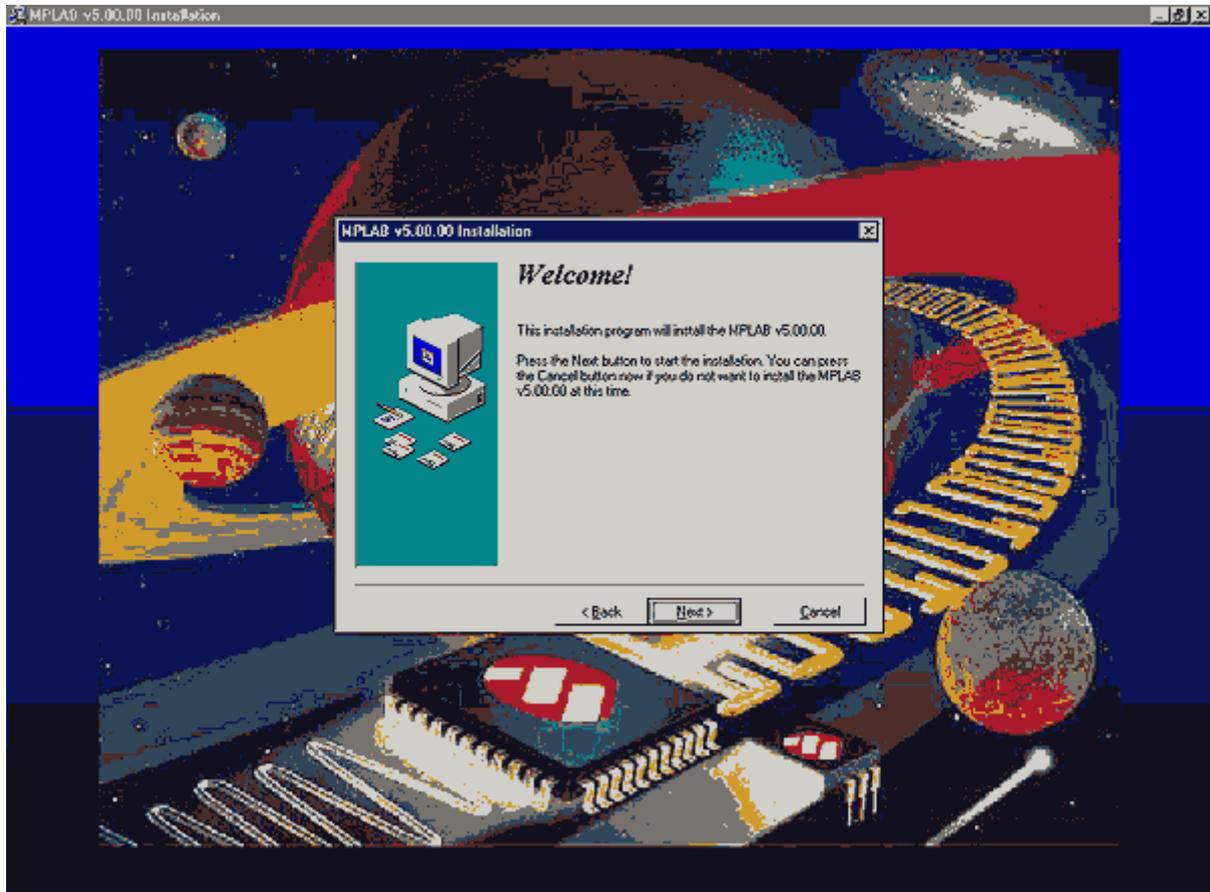
Passos para instalar o MPLAB:

1. Correr o Windows da Microsoft
2. Introduzir o CD da Microchip na drive de CD.
3. 'Clicar' no botão 'INICIAR', situado no lado esquerdo do écran ao fundo e escolher a opção

Executar...

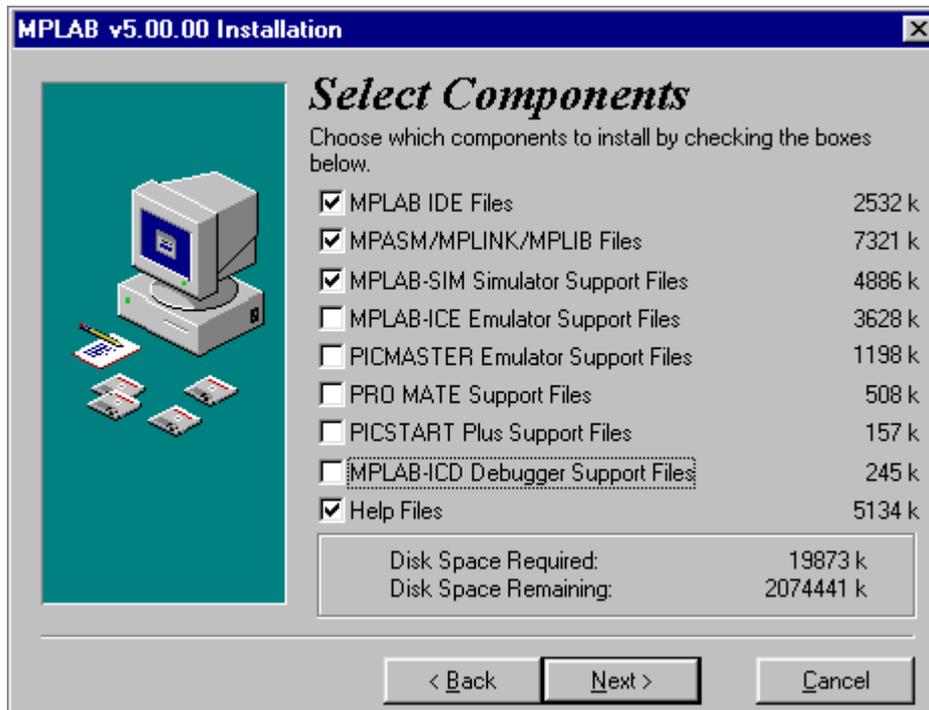
4. Clicar em 'Procurar' e seleccionar a drive de CD do seu computador
5. Descobrir o directório MPLAB na CD ROM
6. Clicar em SETUP.EXE e a seguir em OK.
7. Clicar novamente em OK na sua janela de Executar

A instalação propriamente dita, começa depois destes sete passos. As figuras que se seguem explicam o significado de certas etapas dessa instalação.



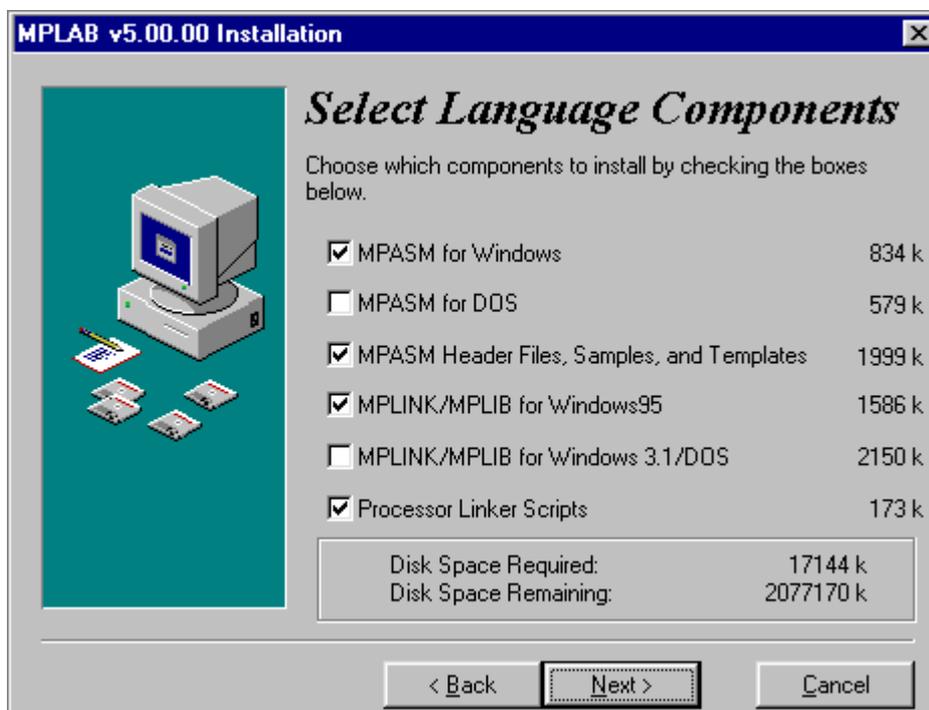
Écran de boas-vindas no início da instalação do MPLAB

Logo no início, é necessário seleccionar quais os componentes do MPLAB com que vamos trabalhar. Como, em princípio, não dispomos dos componentes de hardware originais da Microchip tais como programadores ou emuladores, as únicas coisas que vamos instalar é o ambiente MPLAB, Assembler, Simulador e instruções.



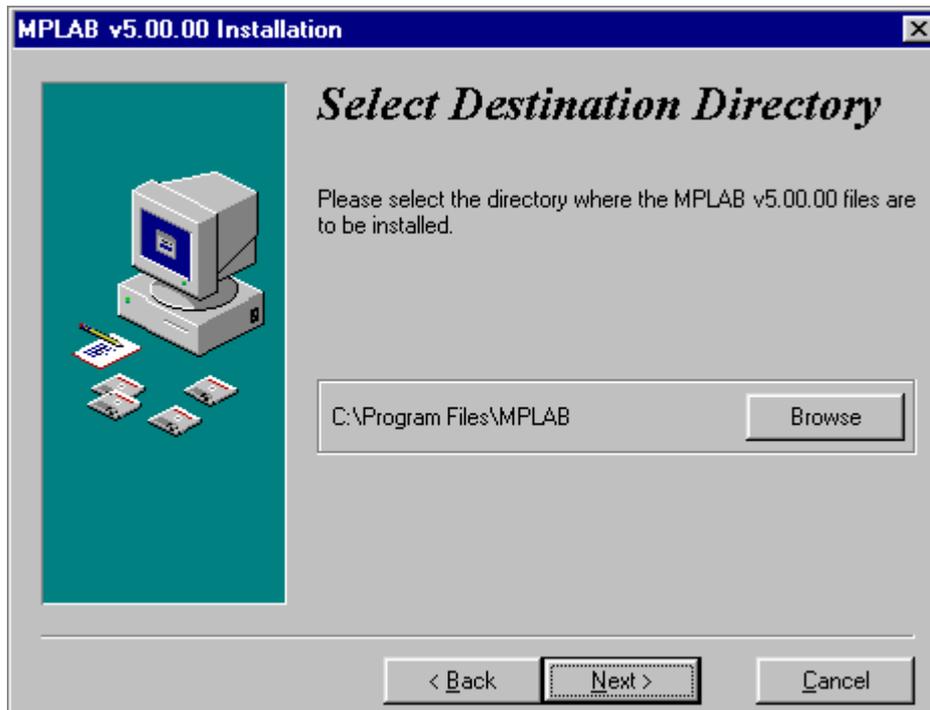
Seleccionando os componentes do ambiente de desenvolvimento MPLAB

Como é suposto irmos trabalhar com o Windows 95 (ou um sistema operativo ainda mais moderno), tudo aquilo que diga respeito ao sistema operativo DOS, não deve ser contemplado ao fazer a selecção da linguagem assembler. Contudo, se preferir continuar a trabalhar em DOS, então precisa de desmarcar todas as opções relacionadas com o Windows e seleccionar os componentes apropriados para o DOS.



Seleccionando o Assembler e o sistema operativo

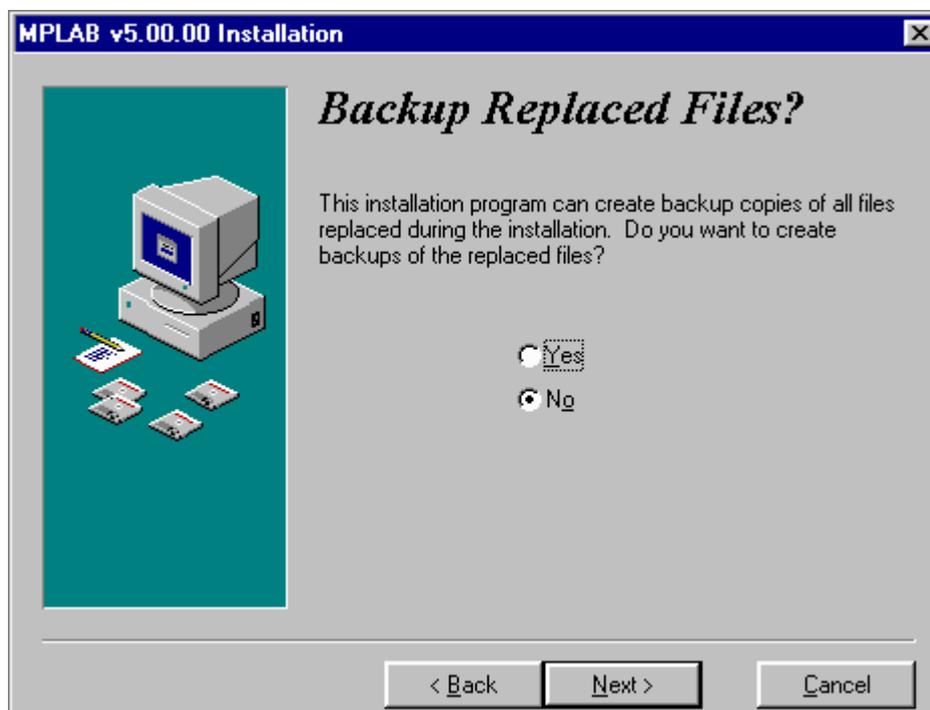
Como qualquer outro programa, o MPLAB deve ser instalado num directório. O directório escolhido, pode ser qualquer um no disco duro do computador. Se não tiver razões fortes para não o fazer, deve aceitar a escolha indicada por defeito.



Escolhendo o directório em que o MPLAB vai ficar instalado

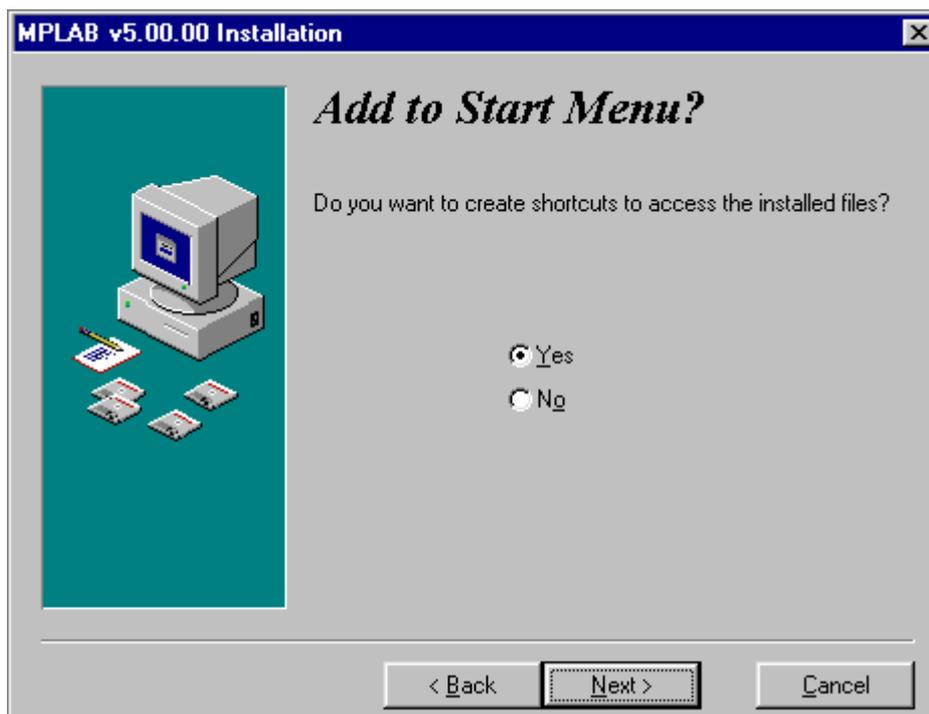
Os utilizadores que já tenham o MPLAB instalado (versão mais antiga que esta), necessitam da opção que se segue.

O propósito desta opção é salvaguardar cópias de todos os ficheiros que foram modificados durante o processo de mudança da versão antiga para a versão mais moderna do MPLAB. No nosso caso, deixaremos a opção NO seleccionada, porque se presume que estamos a fazer a primeira instalação do MPLAB no nosso computador.



Opções para os utilizadores que estão a instalar uma nova versão do MPLAB por cima de outra versão instalada, mais antiga

O menu Iniciar (START) contém um conjunto de ponteiros para programas e é seleccionado clicando na opção INICIAR ao fundo, no canto esquerdo do écran. Para que o MPLAB também possa ser iniciado a partir daqui, nós precisamos de deixar esta opção tal ela se nos apresenta.



Introduzindo o MPLAB no menu iniciar

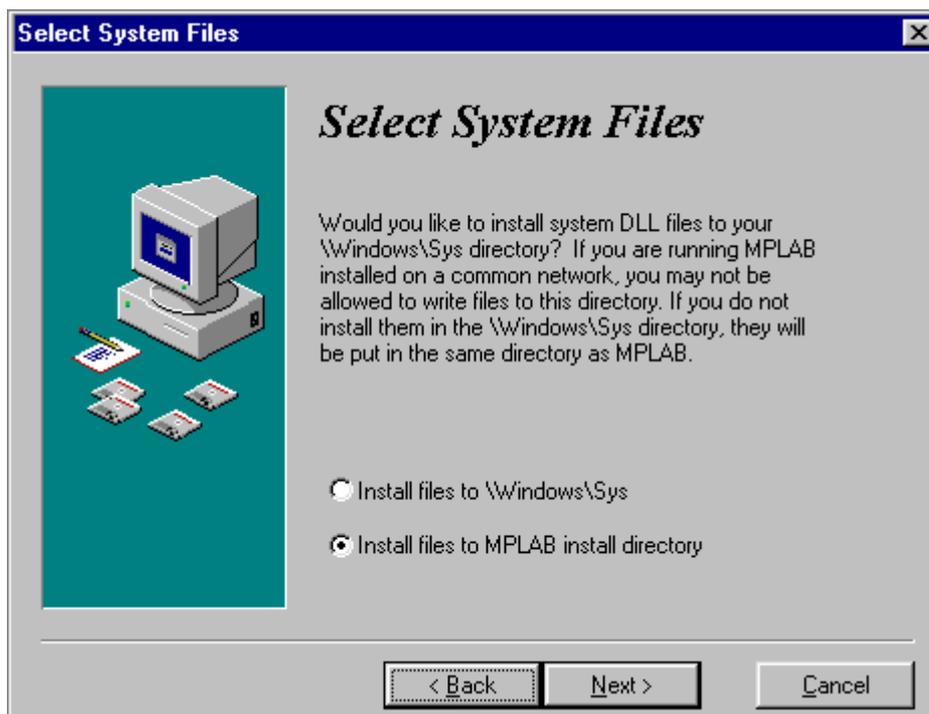
A janela que se mostra a seguir, tem a ver com uma parte do MPLAB em cuja explicação não necessitamos de entrar em detalhes. Seleccionando um directório especial, o MPLAB guarda todos os ficheiros relacionados com o 'linker', num directório separado.



Definição do directório dos ficheiros linker

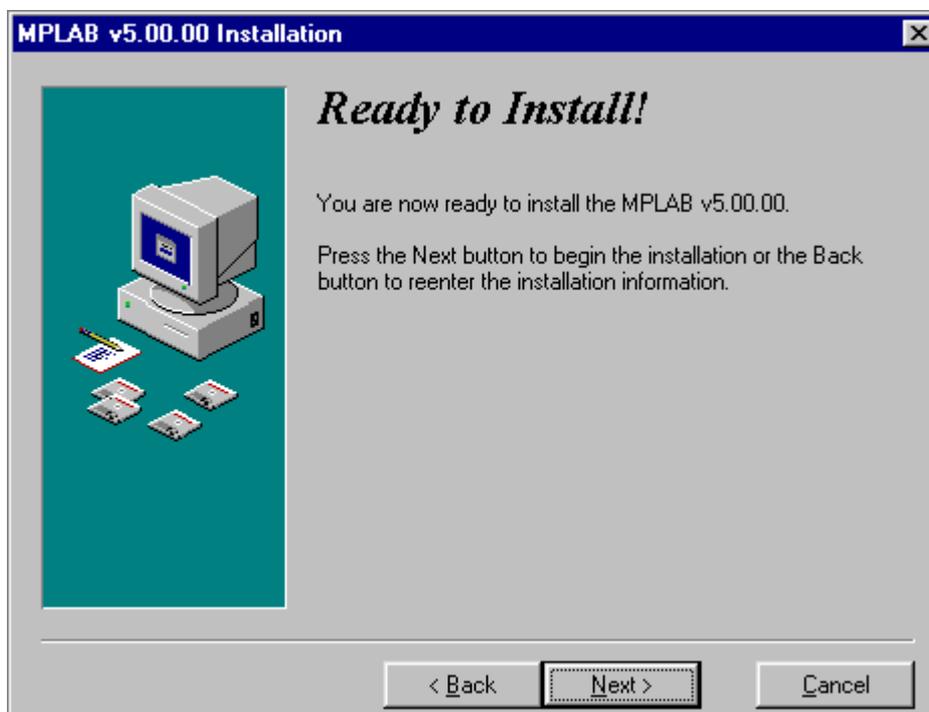
Geralmente, todos os programas que correm no Windows, têm os ficheiros do sistema guardados no directório Windows. Depois de múltiplas instalações, o directório Windows torna-se demasiado

grande e povoado. Assim, alguns programas permitem que os seus ficheiros do sistema fiquem guardados nos mesmos directórios em que estão os programas. O MPLAB é um exemplo disto e, por isso, deve ser seleccionada a opção do fundo.



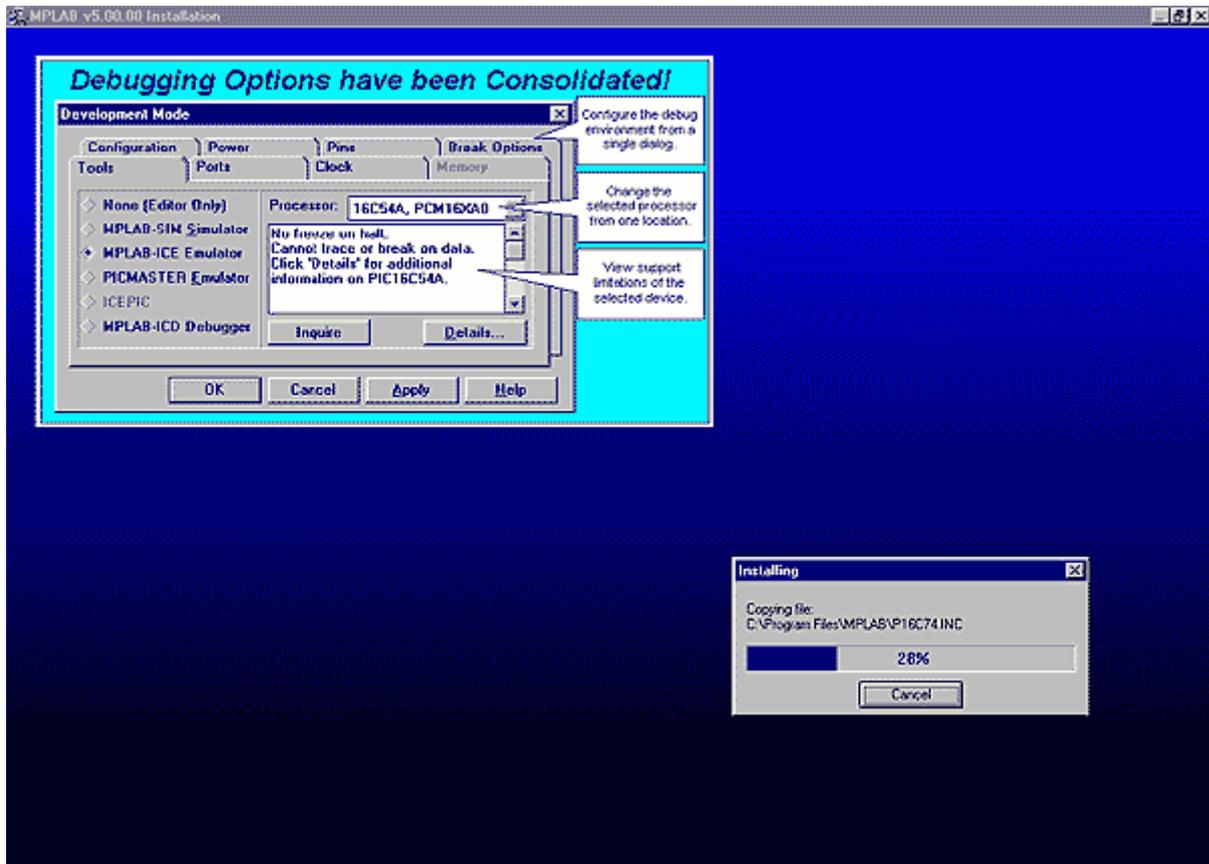
Seleção de um directório para os ficheiros do sistema

Depois de realizados estes passos, a instalação inicia-se ao clicar em 'Next'.



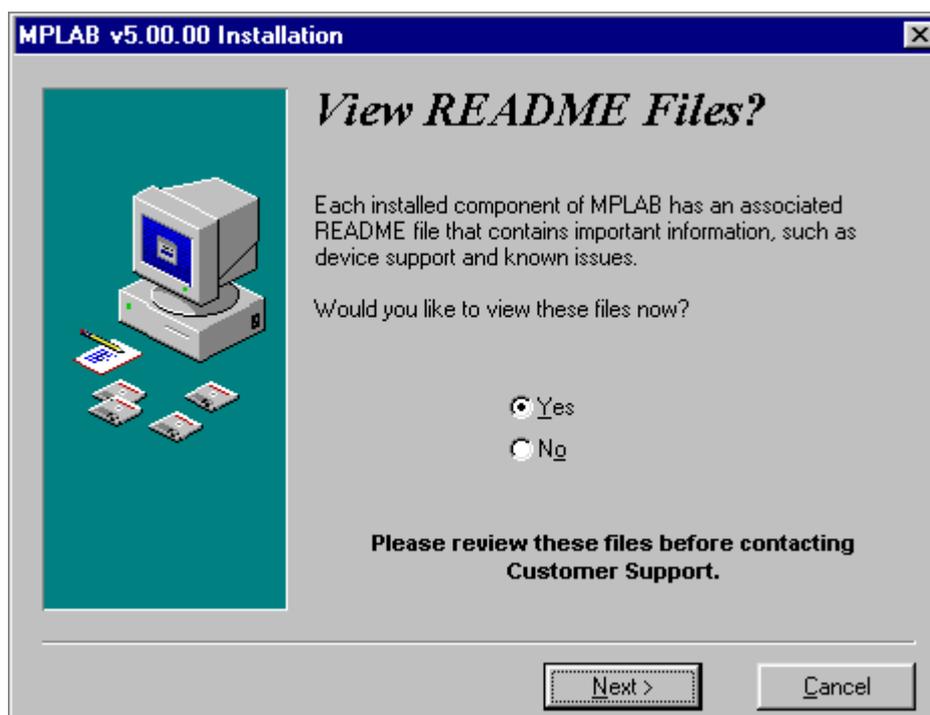
Écran antes da instalação

A instalação não demora muito tempo e o processo de copiar os ficheiros pode ser visualizado numa pequena janela no lado direito do écran.



A instalação a decorrer

Depois de concluída a instalação, aparecem dois écrans de diálogo, um que menciona as últimas informações e correcções relativas ao programa e o outro que é um écran de boas vindas. Se os ficheiros de texto (Readme.txt) forem abertos, é preciso, fechá-los a seguir.

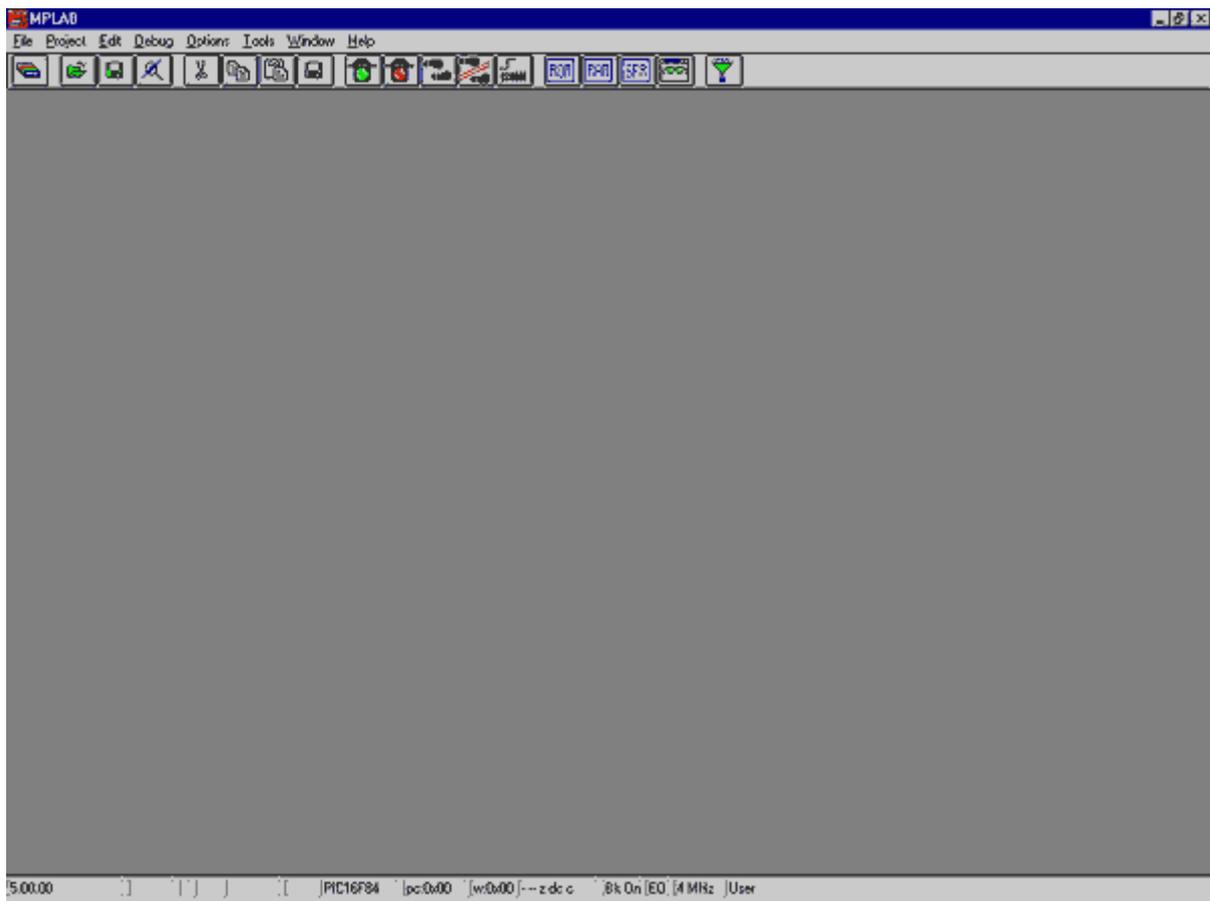


Informações de "último minuto", respeitantes às versões do programa e a correcções

Depois de clicar em 'Finish', a instalação do MPLAB está terminada.

5.2 MPLAB

Quando terminamos o processo de instalação, aparece-nos no écran o programa propriamente dito. Como pode ver-se, o aspecto do MPLAB é o mesmo da maioria dos programas Windows. Perto da área de trabalho existe um "menu" (faixa azul em cima, com as opções File, Edit, etc.), "toolbar" (barra com figuras que preenchem pequenos quadrados) e a linha de status no fundo da janela. Assim, pretende-se seguir uma regra no Windows que é tornar também acessíveis por baixo do menu, as opções usadas mais frequentemente no programa,. Deste modo, é possível acedê-las de um modo mais fácil e tornar o nosso trabalho mais rápido. Ou seja, aquilo que está disponível na barra de ferramentas, também está disponível no menu.



O écran depois de o MPLAB ser iniciado

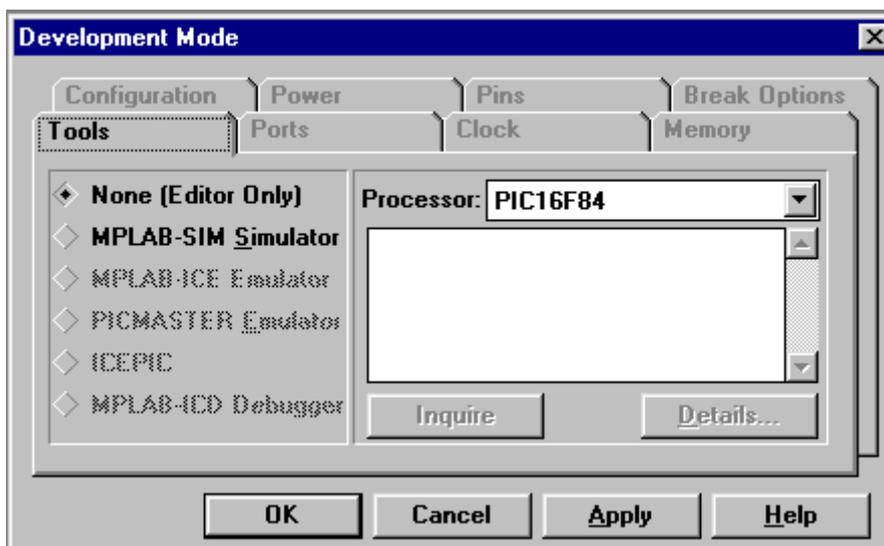
O propósito deste capítulo é familiarizá-lo com o ambiente de desenvolvimento MPLAB e com elementos básicos do MPLAB, tais como:

- Escolher um modo de desenvolvimento
- Designar um projecto
- Designar um ficheiro para o programa original
- Escrever um programa elementar na linguagem de programação assembler
- Traduzir um programa para linguagem máquina
- Iniciar o programa
- Abrir uma nova janela de simulação
- Abrir uma nova janela para as variáveis cujos valores queremos observar (watch window)
- Guardar a janela para as variáveis cujos valores queremos observar (janela anterior)
- Definir breakpoints no simulador (pontos de paragem)

A preparação de um programa para ser lido num microcontrolador compreende várias etapas básicas:

5.3 Escolhendo o modo de desenvolvimento

Para que o MPLAB possa saber que ferramentas vão ser usadas na execução do programa que se escreveu, é necessário definir o modo de desenvolvimento. No nosso caso, nós precisamos de preparar o simulador como preparamos uma ferramenta que vamos usar. Clicando em OPTIONS--> DEVELOPMENT MODE, uma nova janela idêntica à que se mostra na figura em baixo, irá aparecer:



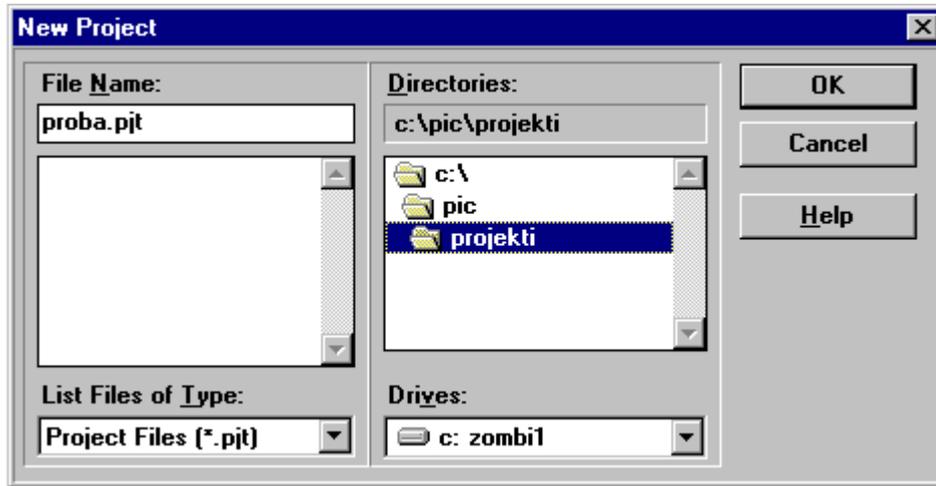
Definindo um modo de desenvolvimento

Nós devemos seleccionar a opção 'MPLAB-SIM Simulator', porque é neste ambiente que o nosso programa vai ser experimentado. Além desta opção, está também disponível a opção 'Editor Only' (somente editor). Esta última opção só é usada, se o que desejamos é apenas escrever o programa e usar um programador para transferir um 'ficheiro hex' para o microcontrolador. A selecção do modelo de microcontrolador é feita no lado direito. Como o livro é baseado no PIC16F84, é este o modelo de microcontrolador que deve ser seleccionado. Normalmente, quando começamos a trabalhar com microcontroladores, usamos um simulador. Depois, à medida que o nível dos nossos conhecimentos sobe, podemos escrever o programa no microcontrolador, logo após a sua tradução. O nosso conselho, é que você use sempre o simulador. Embora possa parecer que, assim, o programa demora mais tempo a implementar, no fim vai ver que vale a pena.

5.4 Implementando um projecto

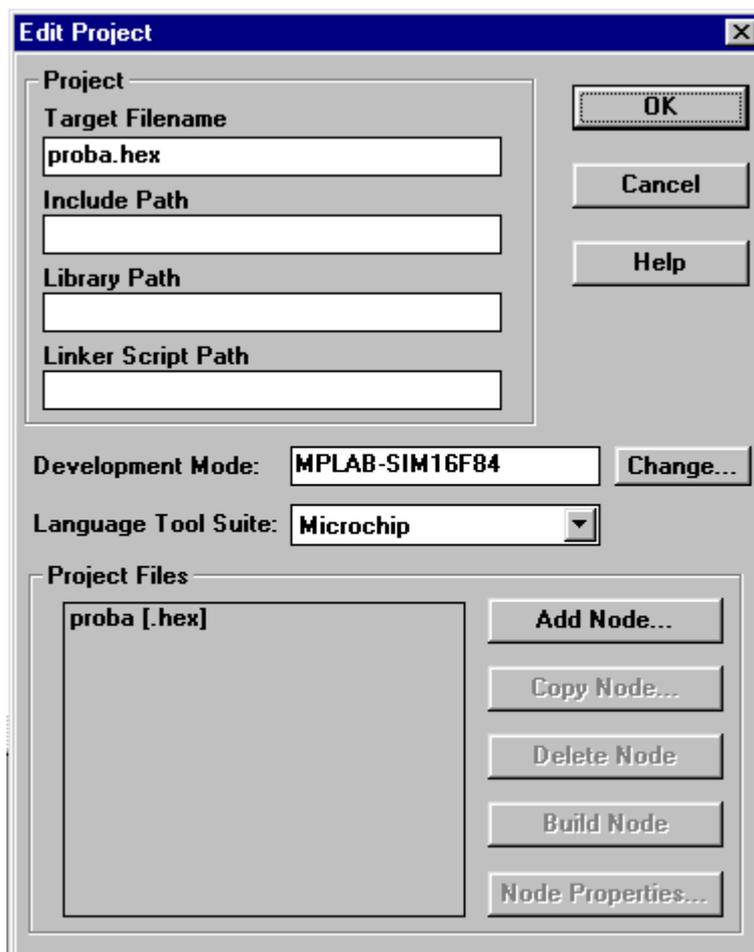
Para começar a escrever um programa é preciso primeiro criar um projecto. Clicando em PROJECT --> NEW PROJECT você pode dar um nome ao seu projecto e guardá-lo num directório à sua escolha. Na figura em baixo, um projecto designado por 'test.pjt' está a ser criado e é guardado no directório c:\PIC\PROJEKTI\ .

Escolheu-se este directório porque os autores têm este directório no seu computador. De um modo genérico, escolhe-se um directório que está contido noutra directório maior e cujo nome deve fazer lembrar os ficheiros que contém.



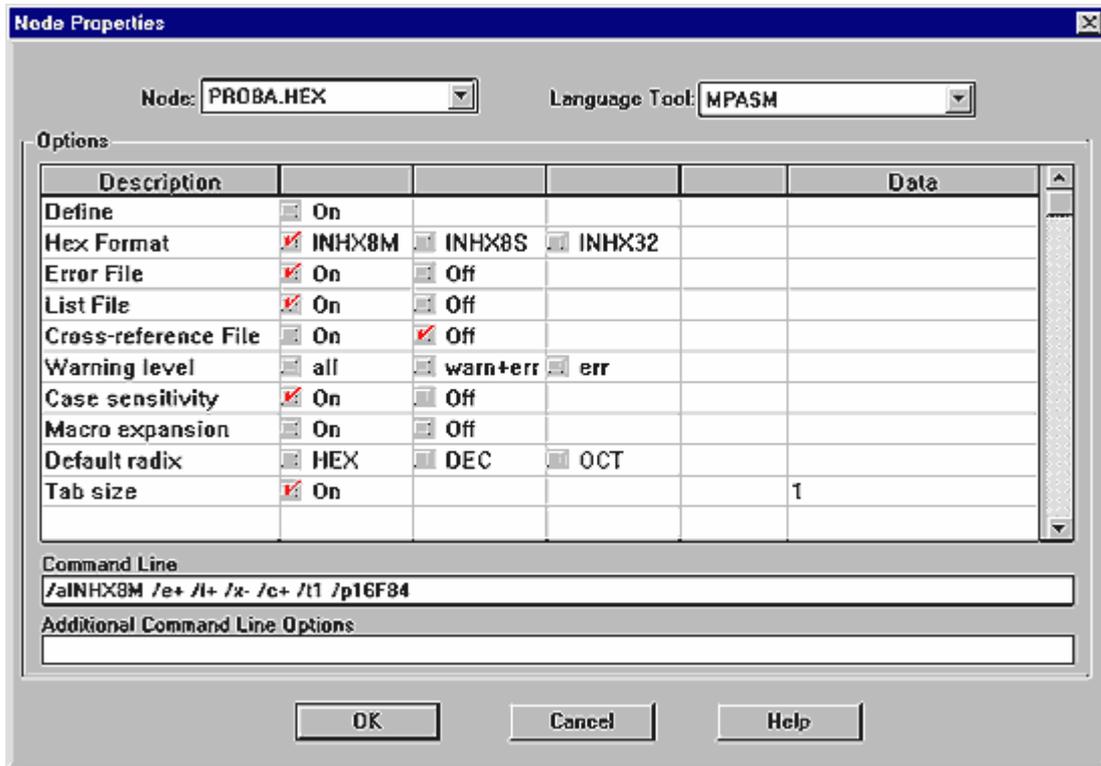
Abrindo um novo projecto

Depois de dar um nome ao projecto clique em OK. Veremos que aparece uma nova janela, idêntica à que se mostra na figura seguinte.



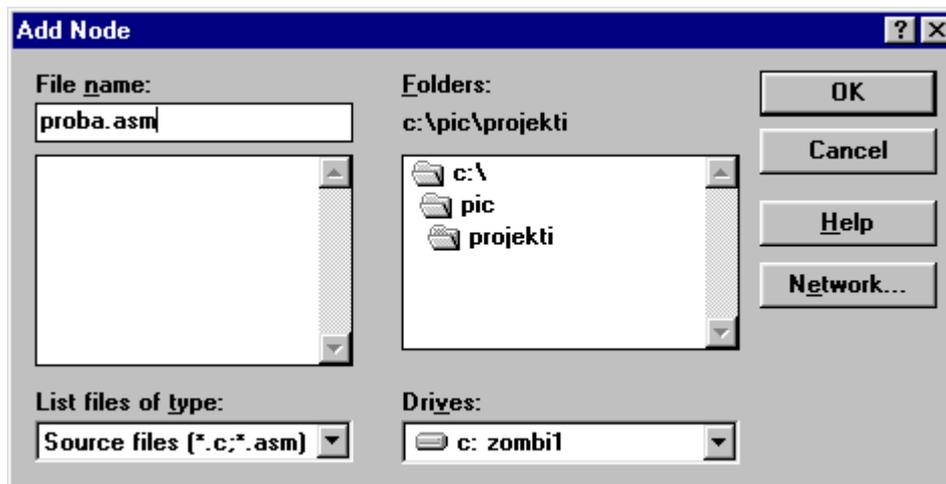
Ajuste dos elementos do projecto

Com o rato, clique em "proba [.hex]", o que activa a opção 'Node properties', ao fundo no lado direito. Clicando esta opção, obtém-se a janela seguinte.



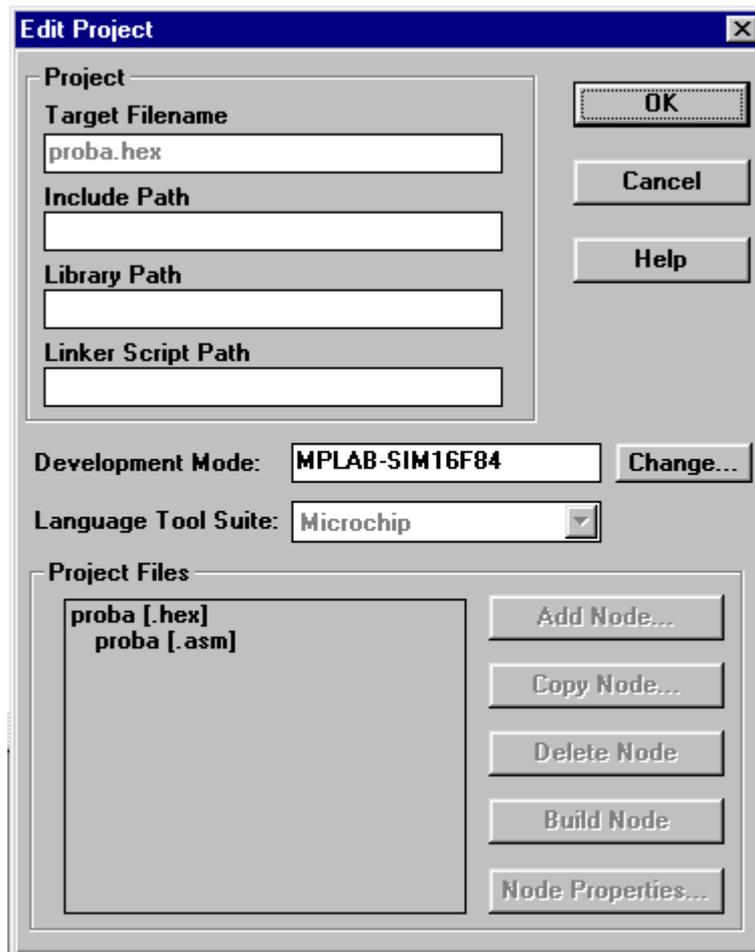
Definindo os parâmetros do assembler MPASM

Na figura pode verificar-se que existem muitos parâmetros diferentes. Cada um deles, corresponde a um termo na "linha de comandos". Como memorizar estes parâmetros é bastante desconfortável ou mesmo proibitivo para principiantes, foi introduzida possibilidade de um ajuste feito graficamente. Observando a figura, verifica-se rapidamente quais as opções que estão seleccionadas. Clicando em OK, voltamos à janela anterior onde "Add node" é agora uma opção activa. Clicando nela, obtemos a seguinte janela onde vamos dar o um nome ao nosso programa assembler. Vamos chamar-lhe "Proba.asm", e vai ser o nosso primeiro programa em MPLAB.



Abrindo um novo projecto

Clicando em OK, voltamos à janela de inicial onde vemos adicionado um ficheiro assembler.



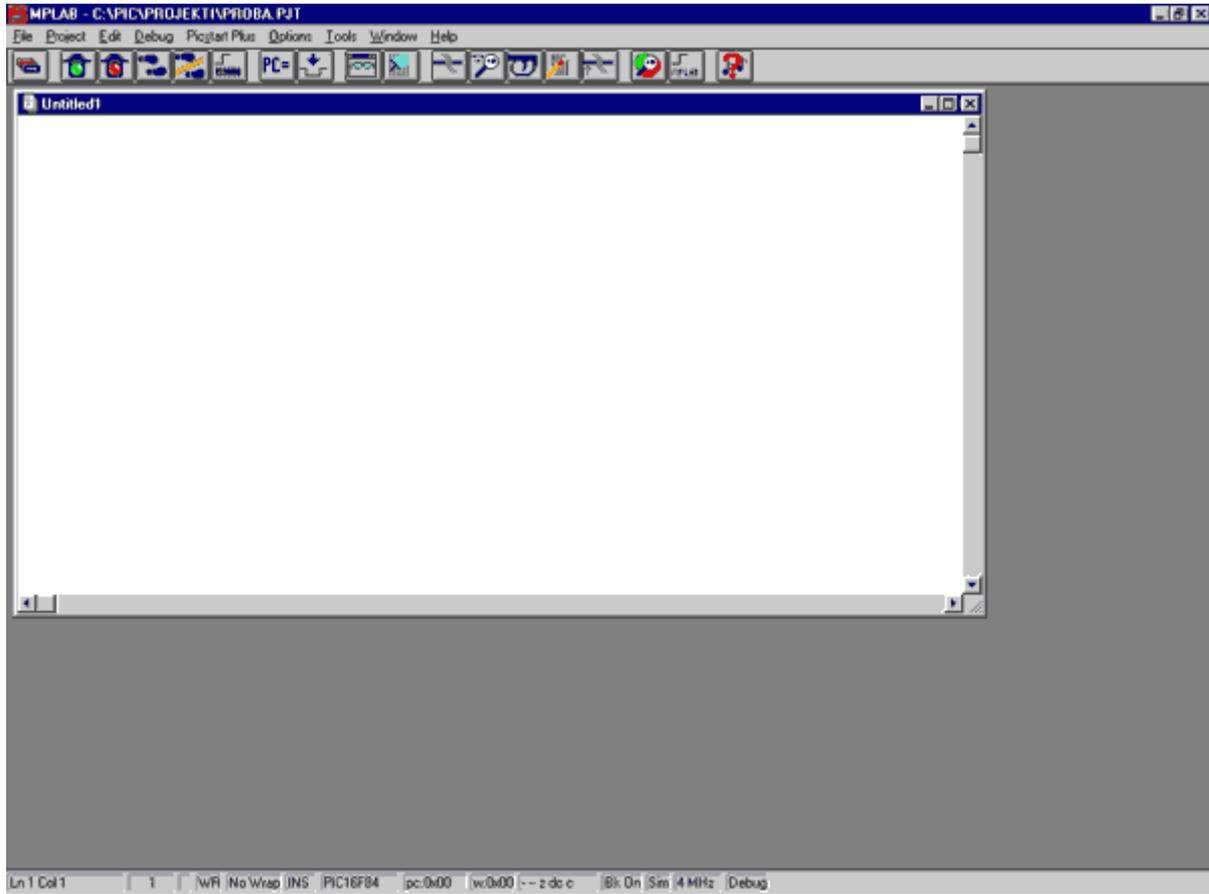
Um ficheiro assembler foi adicionado

Clicando em OK voltamos ao ambiente MPLAB.

5.5 Criando um novo ficheiro assembler (escrevendo um novo programa)

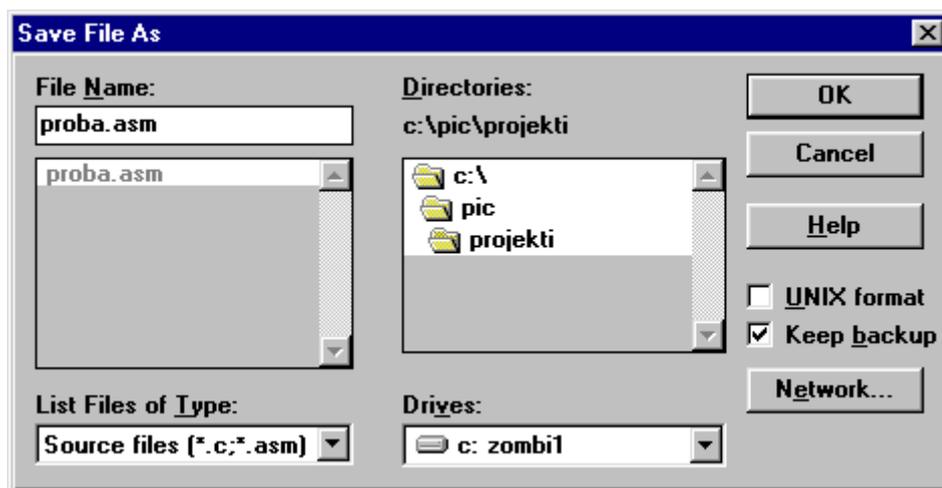
Depois de a parte de criação de "project", ter terminado, é altura de começarmos a escrever um programa. Por outras palavras, um novo ficheiro deve ser aberto e vai ser designado por "proba.asm". No nosso caso, o ficheiro tem que ser designado por "proba.asm" porque, em projectos constituídos por um único ficheiro (como é o caso do nosso), o nome do projecto e o nome do ficheiro fonte tem que ser o mesmo.

Para abrir um novo ficheiro, clica-se em FILE>NEW. Assim, obtemos uma janela de texto dentro do espaço de trabalho do MPLAB.



Um novo ficheiro assembler foi aberto

A nova janela representa o ficheiro onde o programa vai ser escrito. Como o nosso ficheiro assembler tem que ser designado por "proba.asm", vamos dar-lhe esse nome. A designação do programa faz-se (como em todos os programas Windows) clicando em FILE>SAVE AS. Deste modo, vamos obter uma janela análoga à que se mostra na figura seguinte.



Dando um nome e guardando um novo ficheiro assembler

Quando obtemos esta janela, precisamos de escrever 'proba.asm' por baixo de 'File name:' e clicar em OK. Depois de fazer isto, podemos ver o nome do ficheiro 'proba.asm', no cimo da nossa janela.

5.6 Escrevendo um programa

Só depois de completadas todas as operações precedentes é que nós podemos começar a escrever um programa. Como já dispomos de um programa simples que foi escrito na parte do livro "Programação em Linguagem Assembler", vamos usar esse programa aqui, também.



Program: Proba.asm

```
; Programa p/ iniciação do porto B e pôr os seus pinos a '1' lógico
;
; Version: 1.0 Date: 25.04.2000 MCU: PIC16F84 Written by: Petar
; Petrovic

; Declaração e configuração do processador

    PROCESSOR 16F84                ; Tipo de processador
    #include    "p16f84.inc"      ;

    __CONFIG    _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC

    org    0x00                ; Vector de reset
    goto   Main                ; Ir p/ o início do programa Main
    ;

    org    0x04                ; Vector de interrupção
    goto   Main                ; Não há rotina de interrupção

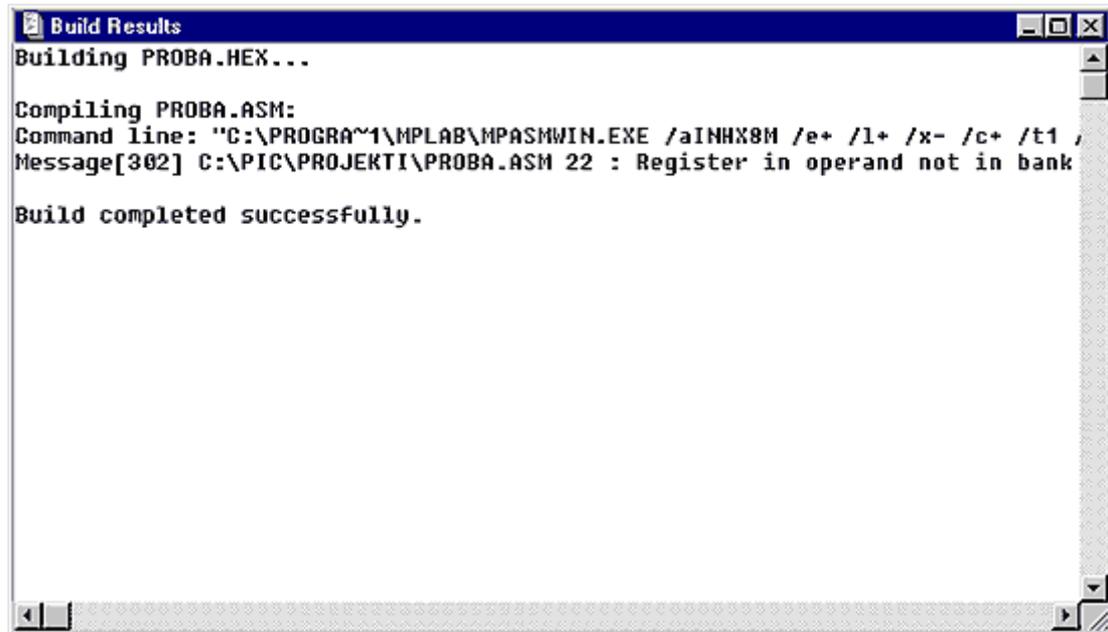
    #include "bank.inc" ; Macros BANK0 e BANK1

; Início do programa Main
Main
    BANK1                ; Seleccionar Banco 1 de memória
    movlw 0x00
    movwf TRISB          ; Pinos do porto B são saídas
    BANK0                ; Seleccionar Banco 0 de memória

    movlw 0xFF
    movwf PORTB          ; Tudo a '1' lógico no porto B
Loop    goto   Loop        ; O programa permanece no loop

    end                    ; Para assinalar o fim do programa
    ;
```

Este programa tem que ser copiado numa janela que esteja aberta, ou copiado do disco ou tirado da página da internet da MikroElektronika usando os comandos copiar e colar. Quando o programa é copiado para a janela "proba.asm", nós podemos usar o comando PROJECT -> BUILD ALL (se não existirem erros) e, uma nova janela idêntica à representada na figura seguinte, vai aparecer.



```
Build Results
Building PROBA.HEX...

Compiling PROBA.ASM:
Command line: "C:\PROGRAMS\MPLAB\MPASMWIN.EXE /aINHX8M /e+ /l+ /x- /c+ /t1 /
Message[302] C:\PIC\PROJETTI\PROBA.ASM 22 : Register in operand not in bank

Build completed successfully.
```

Janela com as mensagens que se sucedem à tradução do programa assembler

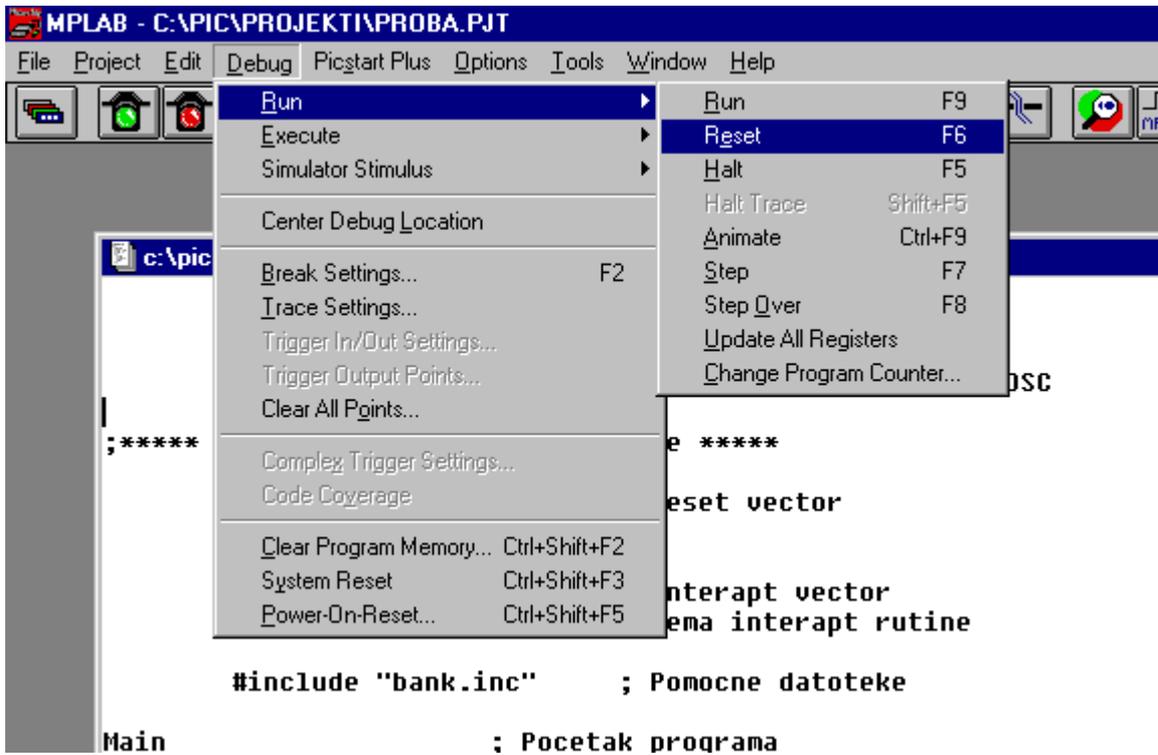
Na figura podemos observar que obtemos o ficheiro "proba.hex" como resultado do processo de tradução, que é usado o programa MPASMWIN para traduzir e que existe uma mensagem. De toda essa informação, a última frase que aparece na janela é a mais importante, já que nos diz se a tradução foi ou não bem sucedida. 'Build completed successfully' é uma mensagem que nos indica que a tradução foi feita com sucesso e que não apareceram erros.

No caso de serem indicados erros, precisamos de clicar duplamente nas mensagens de erros da janela 'Build Results'. Este acto, transfere-nos automaticamente para o programa assembler e para a linha em que o erro se encontra.

5.7 Simulador MPSIM

Simulador, é a parte do ambiente MPLAB que fornece uma melhor visão interna do modo como o microcontrolador trabalha. Através de um simulador nós podemos monitorizar os valores actuais das variáveis, os valores dos registos e os estados lógicos dos pinos dos portos. Para falar verdade, o simulador não dá exactamente os mesmos resultados em todos os programas. Se um programa for simples (como aquele que estamos a utilizar como exemplo), a simulação não é de grande importância, porque pôr todos os pinos do porto B a nível lógico um, não é uma tarefa difícil. Contudo, o simulador pode ser uma grande ajuda em programas mais complicados que incluem temporizadores, diferentes condições em que alguma coisa aconteça e outros requisitos semelhantes (especialmente com operações matemáticas). Simulação, como o próprio nome indica, "simula o funcionamento de um microcontrolador". Como o microcontrolador executa as instruções uma a uma, o simulador é concebido para executar o programa passo a passo (linha a linha), mostrando o que acontece aos dados dentro do microcontrolador. Quando o programa está completamente escrito, convém que o programador, em primeiro lugar, verifique o seu programa num simulador e, só a seguir o experimente numa situação real. Infelizmente, muitas vezes as pessoas esquecem-se dos bons hábitos e passam por cima desta etapa. As razões disto passam pela maneira de ser das pessoas e pela falta de bons simuladores.

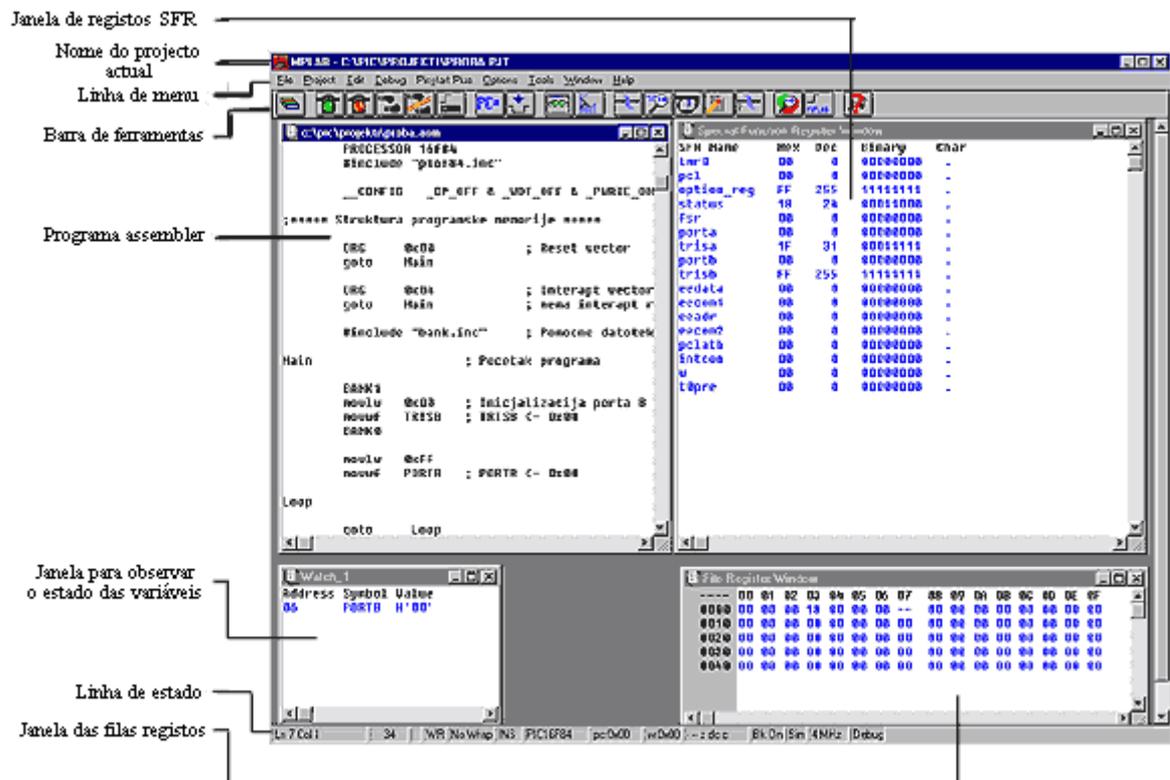
A primeira coisa que precisamos de fazer numa situação real, é o reset do microcontrolador com o comando `DEBUG > RUN > RESET`. Este comando faz com que surja em negrito a linha de início do programa e que, o contador de programa contenha o valor zero como se pode verificar na linha de estado (pc: 0x00).



O início da simulação do programa faz-se com o reset do microcontrolador

Uma das principais características de um simulador, é a possibilidade de observar o estado dos registos dentro do microcontrolador. Principalmente os registos com funções especiais (SFR). É possível abrir uma janela com os registos SFR, clicando em WINDOW->SPECIAL FUNCTION REGISTERS, ou, no ícone SFR.

Além dos registos SFR, pode ser útil observar os conteúdos dos outros registos. Uma janela com as filas-registos pode ser aberta, clicando em WINDOW->FILE REGISTERS. Se existirem variáveis no programa, também é conveniente observá-las. A cada variável pode ser atribuída uma janela (Watch Windows) clicando em WINDOW->WATCH WINDOWS.

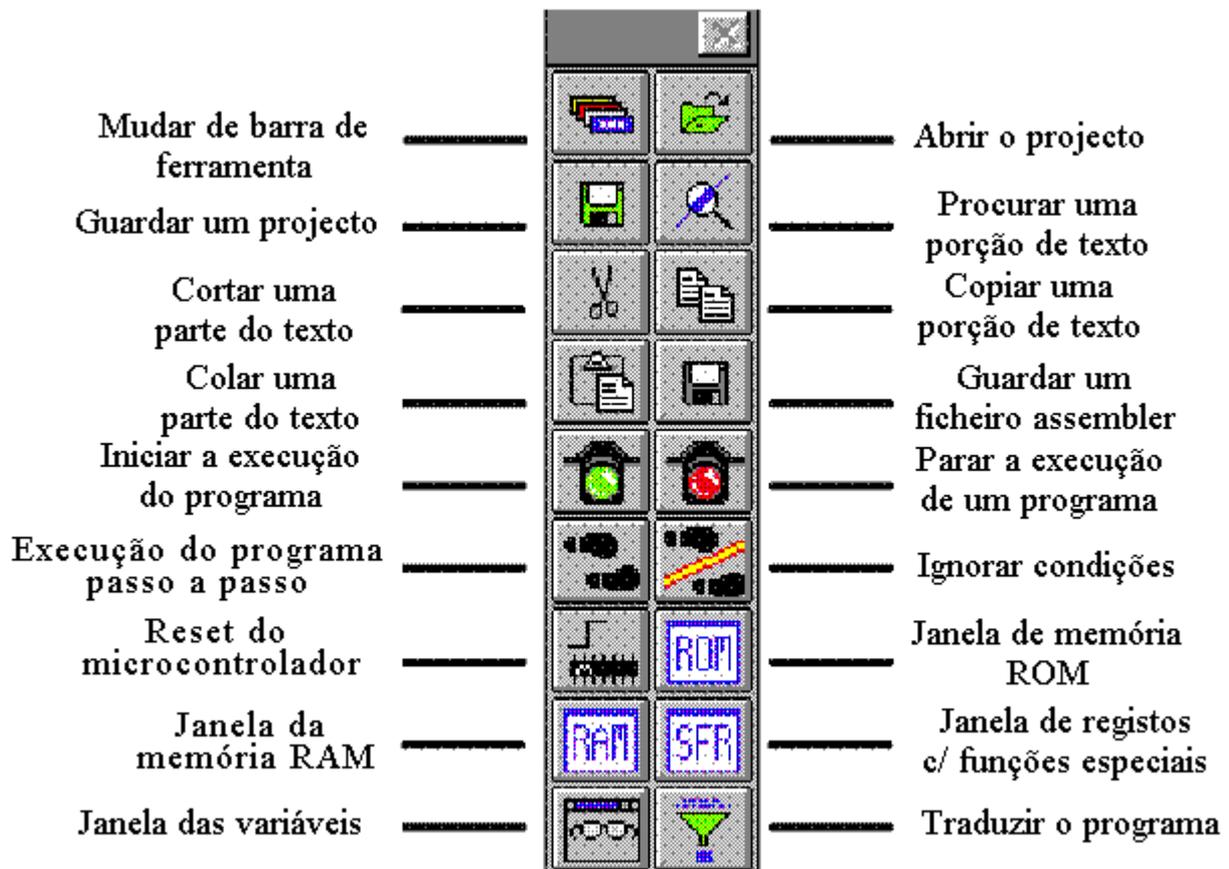


Simulador com janelas abertas para registos SFR, filas registos e variáveis

O próximo comando num simulador é `DEBUG>RUN>STEP` que inicia a simulação passo a passo do programa. O mesmo comando pode ser introduzido através da tecla `<F7>` do teclado (de um modo geral, todos os comandos mais significativos têm teclas atribuídas no teclado). Utilizando a tecla `F7`, o programa é executado passo-a-passo. Quando utilizamos uma macro, o ficheiro que contém a macro é aberto (`Bank.inc`) e podemos prosseguir através da macro. Na janela dos registos SFR, podemos observar como o registo de trabalho `W` recebe o valor `0xFF` e como este valor é transferido para o porto `B`. Clicando de novo em `F7` nós não conseguimos nada porque o programa entra num "loop infinito". Loop infinito é um termo que iremos encontrar muitas vezes. Representa um loop (laço) do qual o microcontrolador não pode sair, a menos que ocorra uma interrupção (se o programa utilizar interrupções) ou, então, quando é executado o reset do microcontrolador.

5.8 Barra de ferramentas

Como o MPLAB tem várias componentes, cada uma dessas componentes tem a sua própria barra de ferramentas (toolbar). Contudo, existe uma barra de ferramentas que é uma espécie de resumo de todas as barras de ferramentas. Esta barra de ferramentas é, normalmente suficiente para as nossas necessidades e vai ser explicada com mais detalhe. Na figura debaixo, podemos observar a barra de ferramentas de que precisamos, juntamente com uma breve explicação de cada ícon. Por causa do formato limitado deste livro, esta barra é apresentada como uma barra suspensa. Contudo, normalmente, está colocada horizontalmente por baixo do menu, ao longo do écran.



Barra de ferramentas universal com uma explicação sumária dos ícones

Significado dos ícones na barra de ferramentas

	Sempre que se clica este ícon, uma nova 'toolbar' aparece. Se clicarmos quatro vezes seguidas, a barra actual reaparece.
	Ícon para abrir um projecto. O projecto aberto desta maneira contém todos os ajustamentos do écran e de todos os elementos que são cruciais para o projecto actual.
	Ícon para guardar um projecto. O projecto guardado conserva todos os ajustamentos de janelas e parâmetros. Quando lermos o programa de novo, tudo regressa ao écran, tal e qual como quando o programa foi fechado.
	Para procurar uma parte do programa ou palavras de que necessitamos, em programas maiores. Usando este icon podemos encontrar rapidamente uma parte do programa, rótulos, macros, etc.
	Ícon para cortar uma parte do texto. Este e os três icons seguintes são standardizados em todos os programas que lidam com ficheiros de texto. Como cada programa é representado por uma porção de texto, estas operações são muito úteis.
	Para copiar uma porção de texto. Existe uma diferença entre este e o ícon anterior. Quando se corta, tira-se uma parte de texto para fora do écran (e do programa), que poderá ser colado a seguir. Mas, tratando-se de uma operação de cópia, o

	texto é copiado mas não cortado e permanece visualizado no écran.
	Quando uma porção de texto é copiado ou cortado, ela move-se para uma parte da memória que serve para transferir dados no sistema operacional Windows. Mais tarde, clicando neste ícon, ela pode ser 'colada' num texto, no sítio onde se encontra o cursor.
	Guardar um programa (ficheiro assembler).
	Começar a execução do programa a toda a velocidade. Essa execução, é reconhecida pelo aparecimento de uma linha de estado amarela. Nesta modalidade de execução, o simulador executa o programa a toda a velocidade até que é interrompido pelo clicar no ícon de tráfego vermelho.
	Pára a execução do programa a toda a velocidade. Depois de clicar neste ícon, a linha de status torna-se de novo cinzenta e a execução do programa pode continuar passo a passo.
	Execução do programa passo a passo. Clicando neste ícon, nós começamos a executar uma instrução na linha de programa a seguir à linha actual.
	'Passar por cima'. Como um simulador não é mais que uma simulação da realidade por software, é possível passar por cima de algumas instruções e o programa prosseguir normalmente, depois disso. Normalmente, a parte do programa que interessa ao programador é a que se segue a esse 'salto por cima'.
	Faz o reset do microcontrolador. Clicando neste ícon, o contador de programa é posicionado no início do programa e a simulação pode começar.
	Clicando neste ícon obtemos uma janela com um programa, mas neste caso na memória de programa, onde podemos ver quais as instruções e em que endereços.
	Com a ajuda deste ícon, obtemos uma janela com o conteúdo da memória RAM do microcontrolador .
	Clicando neste ícon, aparece a janela dos registos SFR (registos com funções especiais). Como os registos SFR são usados em todos os programas, recomenda-se que, no simulador, esta janela esteja sempre activa.
	Se uma programa contiver variáveis cujos valores necessitemos de acompanhar (por exemplo um contador), então é necessária uma janela para elas, isso pode ser feito usando este ícon.
	Quando certos erros num programa se manifestam durante o processo de simulação, o programa tem que ser corrigido. Como o simulador usa o ficheiro HEX como entrada, a seguir à correcção dos erros, nós necessitamos de traduzir de novo o programa, de maneira a que estas mudanças também sejam transferidas para o simulador. Clicando neste ícone, o projecto completo é de novo traduzido e, assim, obtemos a nova versão do ficheiro HEX para o simulador.

