

## Trabalho prático N.º 2

### Objetivos

- Montar, em placa branca, dispositivos simples de interação com o utilizador ligados a portos de I/O do PIC32: 4 LEDs, 1 *dip-switch* de 4 posições, 2 *displays* de 7 segmentos e 1 potenciômetro.
- Executar programas de teste fornecidos para verificar o bom funcionamento dos dispositivos montados.
- Utilizar o *core timer* do MIPS para gerar atrasos programáveis.

### Trabalho a realizar

#### Parte I

1. A Figura 1 apresenta a ligação de 4 LEDs a 4 portos do PIC32 (Porto E: **RE0**, **RE1**, **RE2** e **RE3**). Cada LED tem uma resistência em série que limita o valor da corrente que o atravessa. Para a polarização de um LED deste tipo, devemos usar um valor de corrente inferior a 10mA. O valor da corrente no LED é dado por  $(3.3 - 1.5) / R$ , em que 3.3V é o valor da tensão correspondente ao nível lógico '1' no porto e 1.5V é o valor aproximado da tensão aos terminais do LED quando este está no estado ON. Para uma resistência de 270Ω, a corrente é, aproximadamente, 6.7mA.

- a) Observe a sugestão de colocação dos componentes na placa branca fornecida na Figura 5 e a disposição dos portos na placa DETPIC32 fornecida na Figura 7 (em anexo). De seguida, monte na placa branca os componentes do esquema da Figura 1.

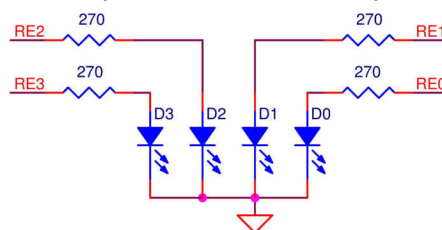
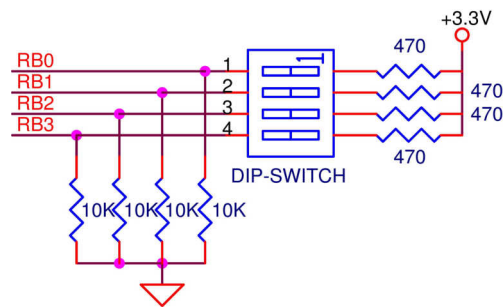


Figura 1. Ligação de 4 LEDs a portos do PIC32.

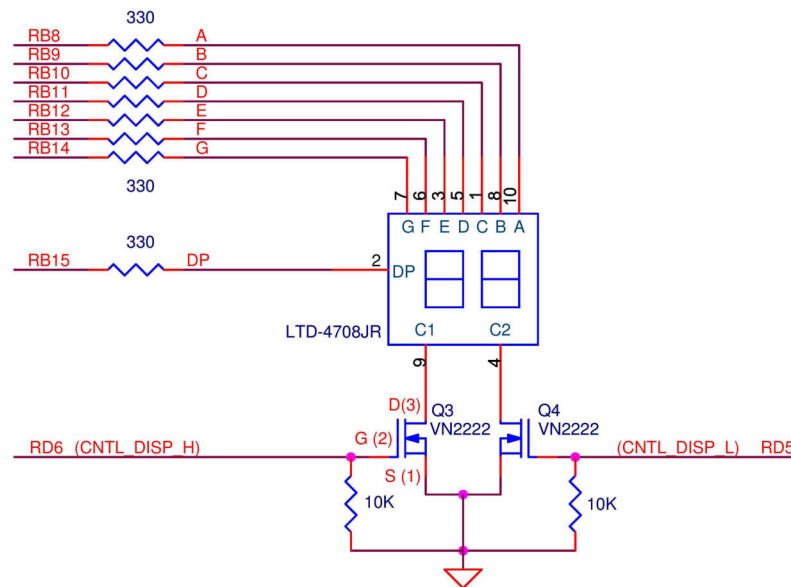
- b) Transfira para a placa DETPIC32 o programa de teste "**test\_leds.hex**" disponível no *moodle* da UC. Deverá observar a ativação sequencial dos LEDs, do menos significativo (ligado ao porto **RE0**), para o mais significativo (ligado ao porto **RE3**). Se tal não acontecer, verifique a origem do erro e faça as correções devidas.
2. A Figura 2 apresenta o esquema de ligação de um *dip-switch* de 4 posições a portos do PIC32 (Porto B: **RB0**, **RB1**, **RB2** e **RB3**). Em cada um dos portos, a resistência de 10kΩ destina-se a fixar a tensão a zero quando o *switch* está aberto. A resistência de 470Ω foi incluída para evitar uma possível destruição do porto do microcontrolador no caso de ser configurado, por engano, como uma saída.
    - a) Monte na placa branca os componentes do esquema da Figura 2.
    - b) Transfira para a placa DETPIC32 o programa de teste "**test\_dsw.hex**". Com este programa de teste cada um dos *switches* deverá ativar um LED: **SW1** ativa o LED ligado ao porto **RE0**,..., **SW4** ativa o LED ligado ao porto **RE3**.



**Figura 2. Ligação de um *dip-switch* de 4 posições a portas do PIC32.**

3. A Figura 3 apresenta o esquema elétrico de ligação de dois *displays* de 7 segmentos a portas do PIC32 (Porto B: **RB8** a **RB15**; Porto D: **RD5** e **RD6**). Cada um dos *displays* pode ser ativado ou desativado através dos transístores Q1 e Q2 ligados aos portos **RD5** e **RD6**, respetivamente. Com esta configuração, os *displays* funcionam em modo alternado, uma vez que o barramento de dados é comum aos dois.

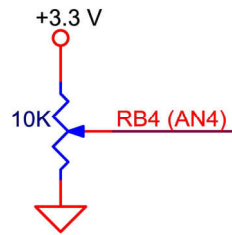
Cada LED do *display* de 7 segmentos tem em série uma resistência que limita a corrente que nele circula (como já referido no ponto 1); a não colocação desta resistência tem como consequência a destruição do LED e/ou da saída do microcontrolador à qual o LED estiver ligado. A corrente consumida por cada LED pode ser calculada como:  $I = (3.3 - 1.5) / R$ ; para uma resistência de 330Ω, a corrente é, aproximadamente, 5.5mA.



**Figura 3. Ligação de dois *displays* de 7 segmentos ao porto B do PIC32.**

- Monte os 2 *displays* de 7 segmentos e os dois transístores, de acordo com o esquema da Figura 3. Verifique no *datasheet* do *display* de 7 segmentos (disponível no *moodle* da UC) qual a correspondência entre cada segmento e o respetivo pino físico.
- Ligue os dois transístores ao circuito. Verifique previamente quais os pinos físicos correspondentes à *gate* (G), *drain* (D) e *source* (S) (note que a montagem incorreta deste componente impede, ou limita, o bom funcionamento do circuito de visualização).
- Transfira para a placa DETPIC32 o programa de teste "**test\_displays.hex**". Com este programa deverá observar a ativação sequencial dos LEDs de cada *display*, do segmento "a" até ao segmento "g", seguida de uma contagem de 0 a F.

4. No circuito da figura seguinte uma resistência variável (designada por potenciômetro) está ligada ao bit **AN4** do PIC32 (**RB4**). Na configuração em que está montada, a resistência variável permite variar, de forma linear, a tensão no seu ponto intermédio entre 0 V e 3.3 V.
- a) Monte esse circuito e ligue o ponto intermédio do potenciômetro à entrada **RB4** da placa DETPIC32.



**Figura 4. Ligação de uma resistência variável à placa DETPIC32.**

- b) Transfira para a placa DETPIC32 o programa de teste "**test\_all.hex**". Com este programa de teste poderá verificar se todo o hardware da placa está a funcionar corretamente. Deverá observar que: i) com todos os *switches* na posição OFF nos *displays* deverá aparecer um valor entre 0.0 e 3.3 correspondente ao valor da tensão no potenciômetro e nos LEDs uma indicação da amplitude dessa tensão ii) nas restantes combinações dos *switches*, os LEDs acendem sequencialmente e os *displays* mostram o valor hexadecimal da combinação binária presente nos *switches*.

## Parte II

O *core* MIPS disponível no microcontrolador PIC32 implementa, no coprocessador 0, um contador crescente de 32 bits (designado por *core timer*) atualizado a cada dois ciclos de relógio do CPU. Na placa DETPIC32 o relógio do CPU está configurado a 40 MHz, pelo que o contador é incrementado a uma frequência de relógio de 20 MHz. Isto significa que o tempo necessário para incrementar o contador desde o valor 0 até 20.000.000 é 1 segundo.

A placa DETPIC32 disponibiliza dois *system calls* para interagir com esse contador: ler o valor atual do contador (**readCoreTimer()**) e reiniciar a zero o seu valor (**resetCoreTimer()**).

1. O programa seguinte incrementa o valor de uma variável à frequência de 100 Hz. De cada vez que a variável é atualizada, o seu valor é apresentado no ecrã do PC.

```
void main(void)
{
    int counter = 0;
    while(1)
    {
        while(readCoreTimer() < 200000);
        resetCoreTimer();
        printInt(++counter, 10);
        putchar(' '); // space
    }
}
```

- a) Complete a tradução para código *assembly* do MIPS que se apresenta de seguida e teste-o na placa DETPIC32.

```
.equ    READ_CORE_TIMER, 11
.equ    RESET_CORE_TIMER, ?
.equ    PUT_CHAR, ?
.equ    PRINT_INT, ?
```

```

        .data
        .text
        .globl main
main:    li      $t0, 0
while:  li      $v0, READ_CORE_TIMER # while (1) {
        syscall #
        b??     $v0, 200000, ???     # while(readCoreTimer() < 200000);
        li      $v0, ???            #
        syscall # resetCoreTimer();
        li      $a0, ' '            #
        li      $v0, PUT_CHAR        #
        syscall # putchar(' ');
        addi    $t0, $t0, ???        #
        move    $a0, $t0            #
        li      $a1, 10             #
        li      $v0, ???            #
        syscall # printInt(++counter, 10);
        ?      ???                  # }
        jr      $ra                 #

```

- b) Altere o código de forma a que a variável seja incrementada com uma frequência de 10 Hz, 5 Hz e de 1 Hz.
2. O objetivo da função **delay()**, apresentada a seguir, é gerar um atraso temporal programável múltiplo de 1ms.

```

void delay(int ms)
{
    for(; ms > 0; ms--)
    {
        resetCoreTimer();
        while(readCoreTimer() < K);
    }
}

```

- a) Determine o valor da constante K, de modo a que para "ms" igual a 1 o atraso gerado seja 1ms.
- b) Traduza para *assembly* do MIPS a função **delay()** e teste-a com diferentes valores de entrada (para o teste utilize como base o código C fornecido no ponto 1).
3. Usando a sequência de instruções *assembly* "lui \$t1, 0xBF88", "lw \$t2, 0x6050(\$t1)" pode ler o valor binário dos 4 *switches* que montou na sua placa. Esse valor fica disponível nos bits 3 a 0 do registo \$t2.
- a) Escreva um programa em *assembly* que leia, com uma frequência de 2 Hz, o valor lógico imposto pelos *switches* e que o mostre, em binário<sup>1</sup>, no ecrã do PC.
- b) Altere o programa anterior de modo a que o valor dos *switches* seja usado para impor a frequência de leitura, entre 1 Hz e 16 Hz; a constante de tempo para chamar a função **delay()** pode ser calculada como:  $KT\_ms = 1000 / (valSwitch + 1)$ .

## Elementos de apoio

- *Datasheets* do *display* LTD-4708JR e do transístor VN2222 (disponíveis no *moodle* de AC2).

<sup>1</sup> O *system call* **printInt** permite especificar o número mínimo de dígitos com que o valor é impresso. Essa configuração é feita nos 16 bits mais significativos do registo usado para determinar a base da representação (e.g., para a impressão em binário com 4 bits, o valor a colocar no registo \$a1 é 0x00040002).

## Anexo

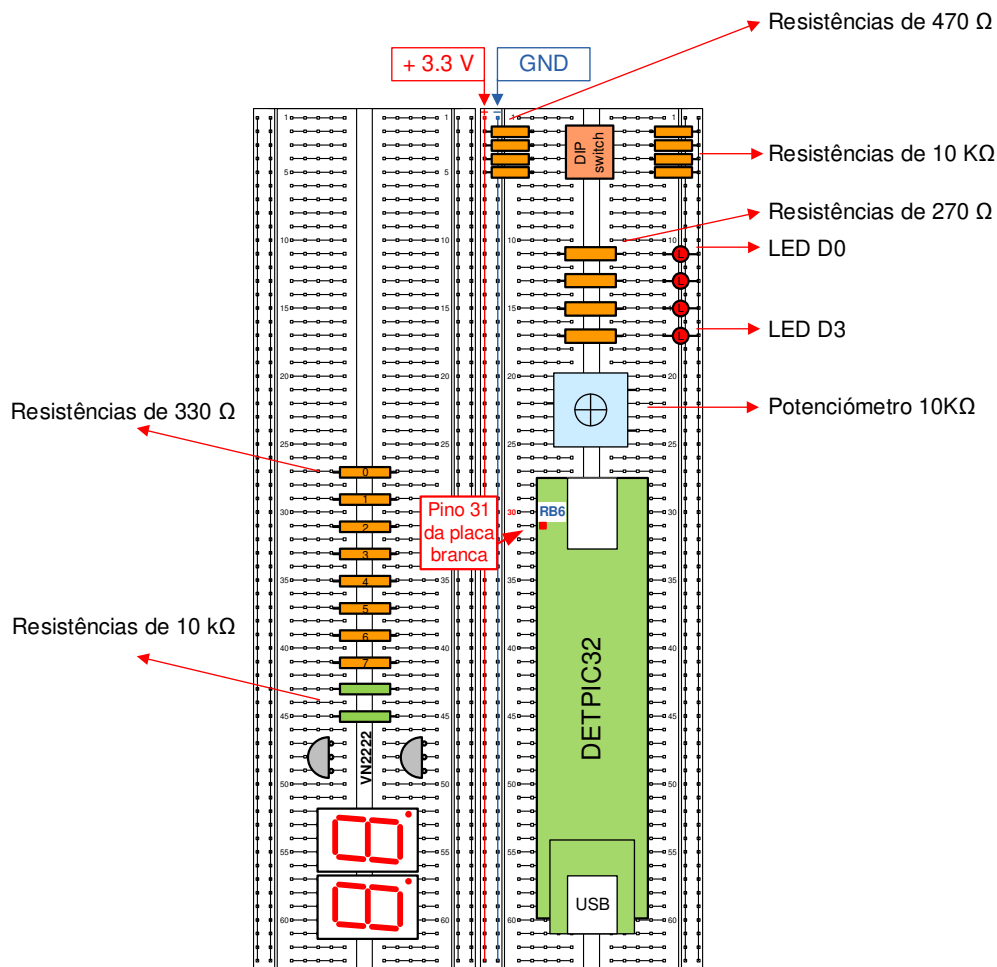


Figura 5. Sugestão de organização do espaço nas placas brancas.

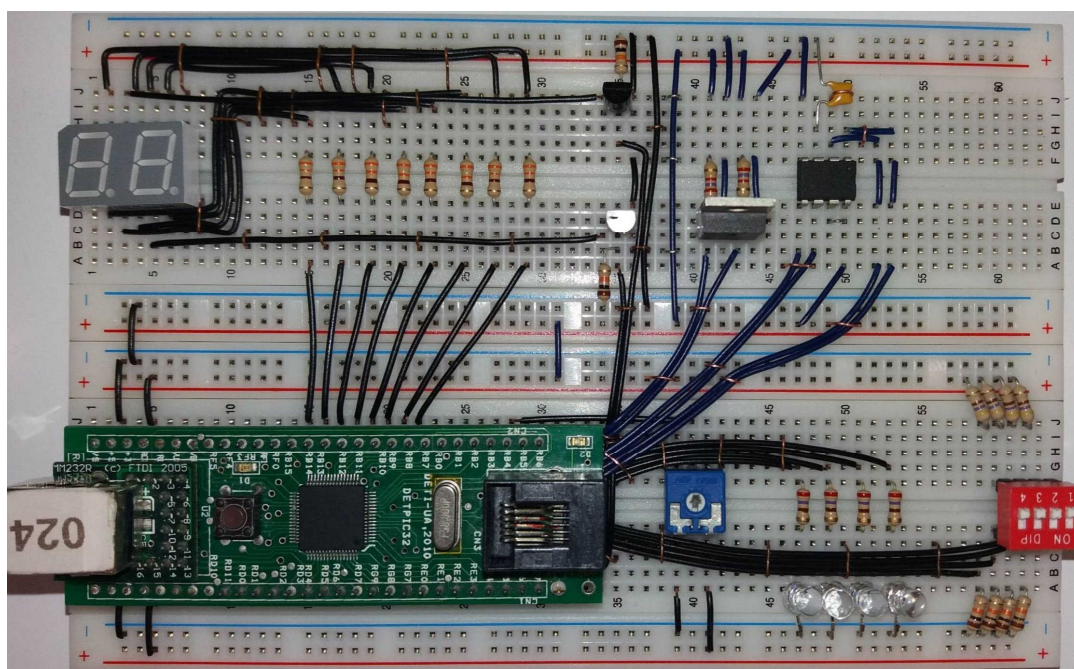
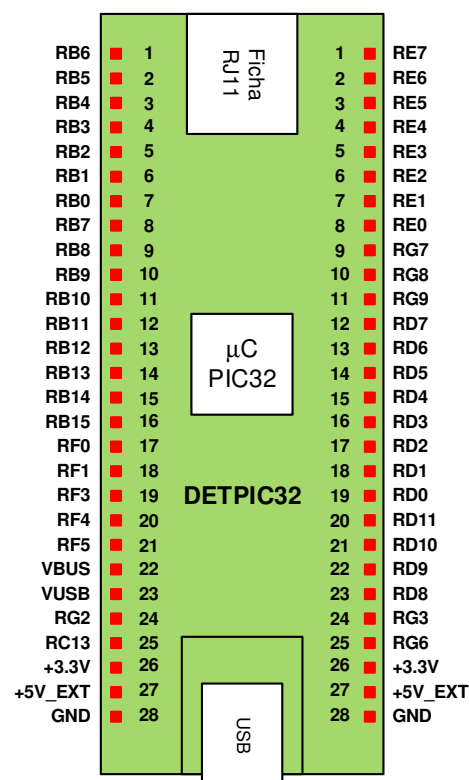


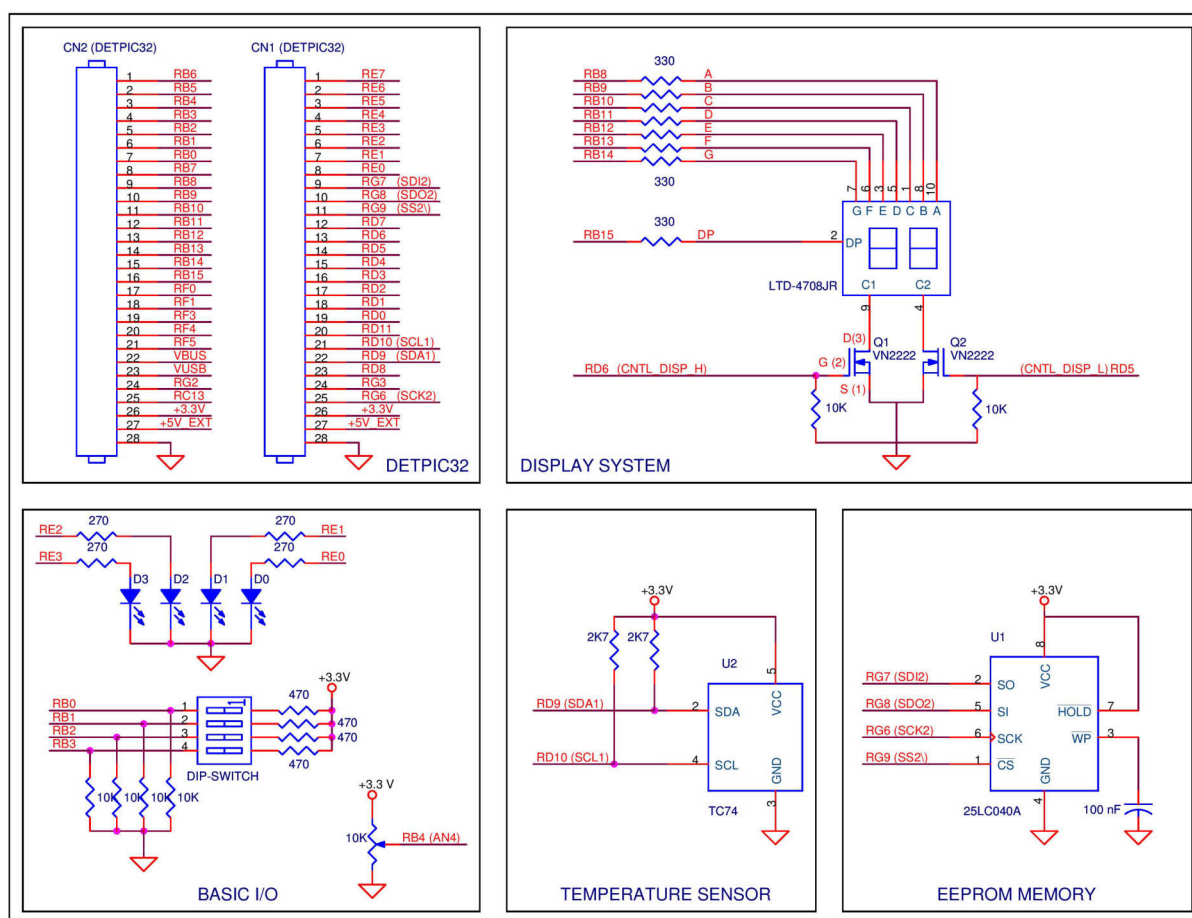
Figura 6. Exemplo de montagem em placa branca.

**Notas:**

1. Não deve utilizar qualquer fonte de tensão externa. Deve-se ter, no entanto, em atenção que o consumo máximo admissível do conjunto não deverá exceder 100 mA.
2. Utilize apenas um barramento da placa branca para a ligação da massa (GND) e apenas um para a ligação da tensão positiva (+3.3V).
3. A inserção/remoção da placa DETPIC32 na placa branca deve ser realizada com muito cuidado de forma a evitar o empeno e consequente quebra dos seus pinos. A inserção deve ser feita pressionando lentamente a placa em ambas as extremidades. A remoção deve ser evitada, mas sempre que houver necessidade de o fazer, deverá ser efetuada de forma a puxar simultaneamente as duas extremidades da placa DETPIC32.



**Figura 7. Disposição dos pinos de ligação à placa branca no DETPIC32.**



**Figura 8. Esquema elétrico completo (incluindo um sensor de temperatura e uma memória EEPROM).**