O módulo *Serial LCD Controller* é constituído por dois blocos principais: *i*) bloco que recebe a informação em série enviada pelo módulo de controlo (*Serial Receiver*); *ii*) O bloco *Dispatcher*, que entrega a trama recebida pelo *Serial Receiver* ao LCD (designado por *LCD Dispacher*). Neste caso o módulo *Control*, implementado em *software*, é a entidade Emissora enquanto que o LCD é a entidade consumidora.

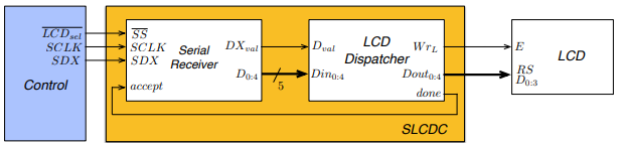
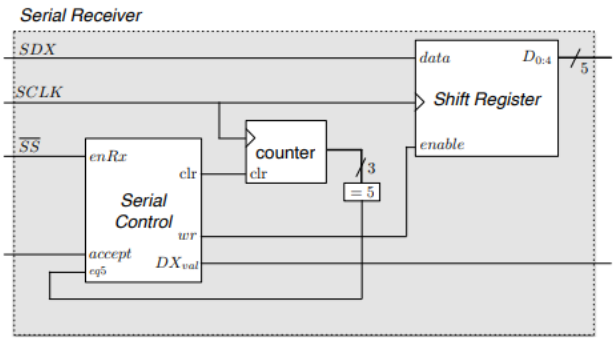


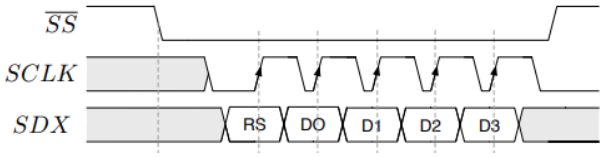
Figura 1 – Diagrama de blocos do módulo Serial LCD Controller

1 Serial Receiver

O bloco *Serial Receiver* implementa um descodificador de um teclado matricial 4x3 através de *hardware*, sendo constituído por três sub-blocos: *i)* bloco responsável por deslocar um bit para a esquerda (*Shift Register*); *ii)* o bloco *Counter*, responsável por, a cada impulso clock, somar 1 ao valor anteriormente guardado; e *iii)* o bloco *Control*, que realiza o controlo do varrimento e o controlo de fluxo, conforme o diagrama de blocos representado na Figura 2A. O controlo de fluxo de saída do bloco *Serial Receiver* (para o módulo *LCD Dispatcher*), define que o sinal DX_{val} é ativado quando enRx está ativo e se todos os bits (5 bits) foram recebidos (a partir do eq5 estar com o valor 1), sendo também disponibilizado o código dessa tecla no barramento *K 0:4*. Apenas é iniciado um novo ciclo de varrimento do teclado quando o sinal *accept* for ativado e posteriormente desativado. O diagrama temporal do controlo de fluxo está representado na Figura 2b.



A) Diagrama de blocos



B) Diagrama temporal

Figura 2 – comunicação com o *Serial LCD Controller*

2 Serial Control

O bloco Serial Control, tal como o nome indica, controla a leitura da trama recebida pelo Serial Receiver. O bloco aguarda uma transição descendente do sinal not SS que está dependente da comunicação com o Serial LCD Controller e quando essa transição acontece, o bloco Serial Control, através de ligações com os blocos counter e Shift Register, lê bit a bit a trama recebida. No final, caso todos tenham sido lidos com sucesso, o bloco "avisa" o bloco LCD Dispatcher que foi transmitida uma trama válida. Este processo foi explicado e implementado com base na seguinte máquina de estados:

A máquina de estados do bloco Serial Control tem como primeiro estado o estado Clear.

O sinal de saída "clear" está ativado para termos a certeza que o "counter" está a zero.

Neste estado aguarda-se que o sinal enRx passe para o valor lógico "false" para haver uma passagem para o estado seguinte, caso contrário a máquina de estados mantém-se neste estado (após esta transição do sinal enRx para "false" é que o SLCDC armazena os bits da trama nas transições ascendentes do sinal SCLK).

No segundo estado, While, sempre que a confirmação do sinal enRx seja "false" o sinal de saída wr ativa (o que depois, tendo em conta o resto do Serial Receiver, vai "permitir ir trocando de bit que queremos ler") e mantém-se o segundo estado.

Caso o enRx esteja "true", verifica-se o valor lógico do sinal eq5. Tendo o enRx "true" e o eq5 "false" a máquina de estados volta ao primeiro estado pois significa que houve um erro que não permitiu ler os 5 bits e como tal, o processo tem de ser reiniciado. Se enRx e eq5 estiverem "true", significa que a leitura de todos os bits da trama foi bem sucedida e podemos assim passar ao terceiro estado.

No nosso terceiro estado , Value , a saída DXval encontra-se a "true" pois todos os bits foram lidos com sucesso (sendo assim uma trama válida) e aguarda-se neste estado que o sinal accept esteja a "true" para confirmar que a trama foi processada pelo bloco Dispatcher e para a máquina de estados poder avançar para o quarto e último estado.

No último estado, Wait, a máquina de estados espera que o sinal de entrada encontre-se realmente a "false" e, caso isso aconteça, passa assim para o estado inicial. Optou-se pela criação deste estado para ter completa certeza que a máquina de estados encontrava-se realmente preparada para receber nova trama.

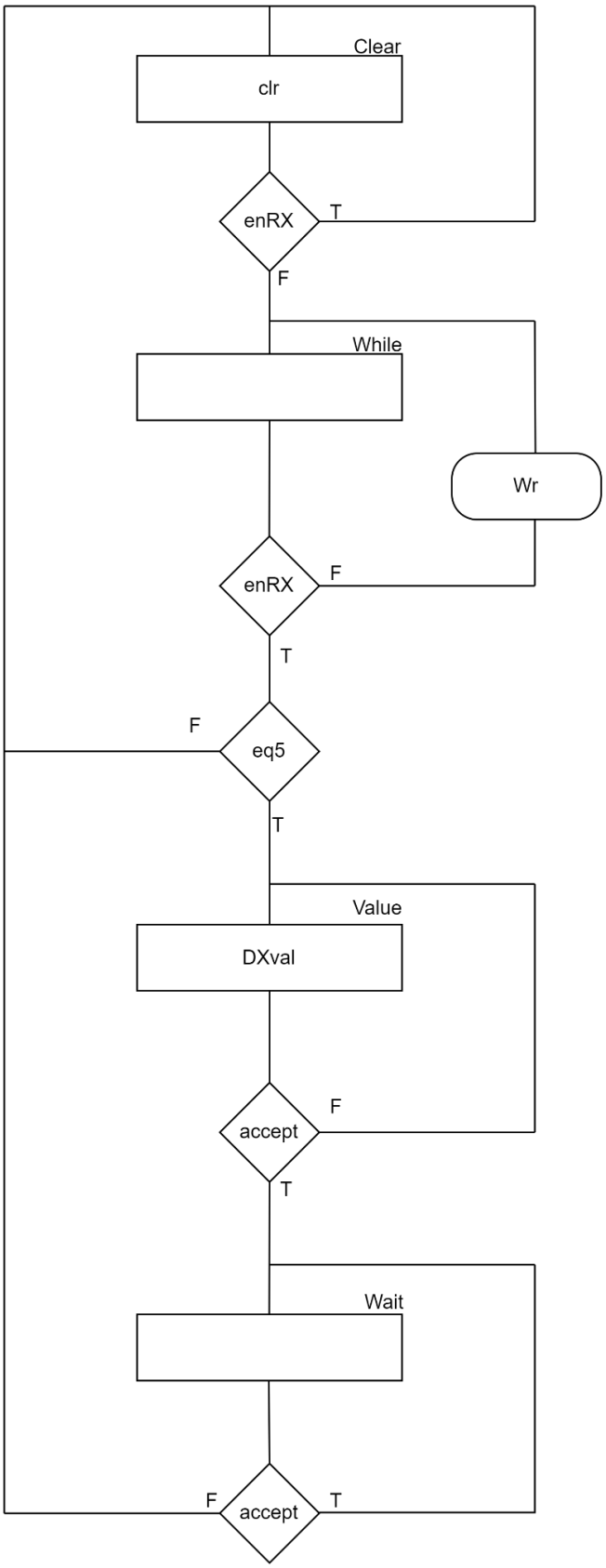


Figura 3 - Máquina de estados Serial Control

3 Dispatcher

O bloco *Dispatcher* é responsável pela entrega das tramas recebidas pelo bloco *Serial Receiver* ao LCD. Sabe-se que uma trama é recebida quando o sinal Dval é ativado.
O *Dispatcher* é iniciado com um estado vazio (00) (uma vez que não existe output – neste caso, é necessário esperar por uma condição). O Dval quando fica com o valor lógico '1' vamos para o estado waiting (01) , caso contrário permanece no estado inicial.
Entre o estado Waiting e o estado Done, existe um tempo de espera (clkdiv) para os dados serem processados, durante esse tempo o Wrl fica com o valor lógico '1'. Foi preciso recorrer à utilização de um clkdiv visto que há um maior tempo para processar os dados.
Depois do processamento dos dados, a máquina de estados fica no estado DONE (10), em que enquanto o Dval nao fica com o valor lógico '0' iremos permanecer neste estado em que o done fica com o valor lógico '1' , saindo apenas quando o Dval ficar com o valor lógico '0'

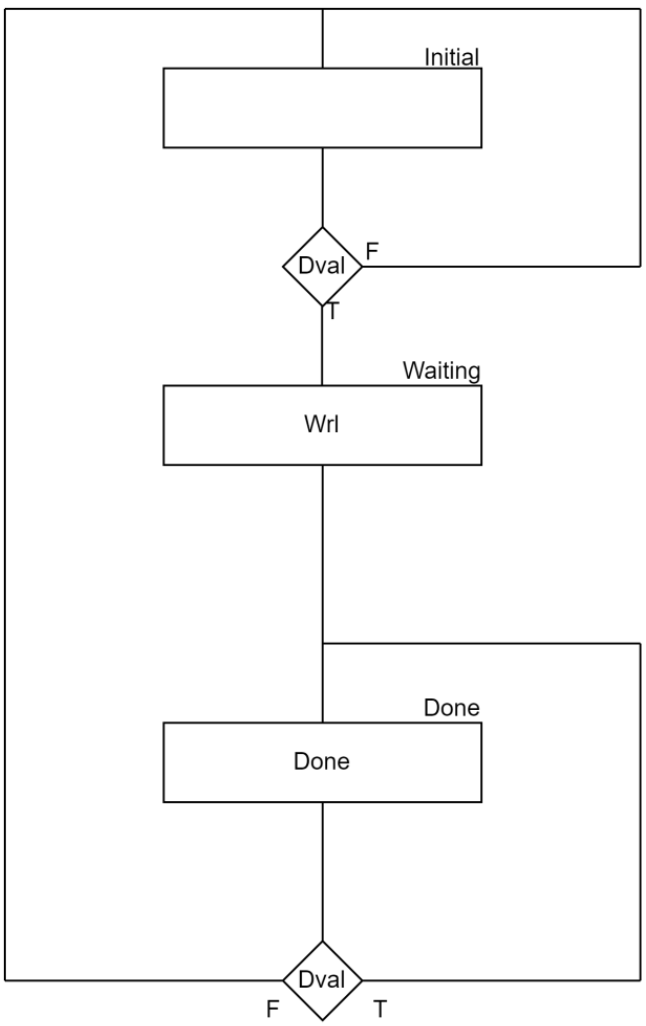


Figura 4 –Máquina de estados Dispatcher

Com base nas descrições dos blocos Serial Receiver e do LCD Dispatcher implementou-se o módulo SLCDC de acordo com o esquema elétrico representado no anexo C.

Para o módulo SLCDC foi usado a mesma frequência de relógio que se usou para o Keyboard Reader, e também, foi utilizado um clock div para reduzir a frequência de relógio do módulo LCD Dispatcher. A partir do clock div, dividiu-se a frequência de relógio do master clock(que neste caso é a frequência da placa, 50MHz) por 1000 hz, para assim o LCD Dispacher ter tempo suficiente para processar as tramas recebidas.
.

4.Interface com o Control

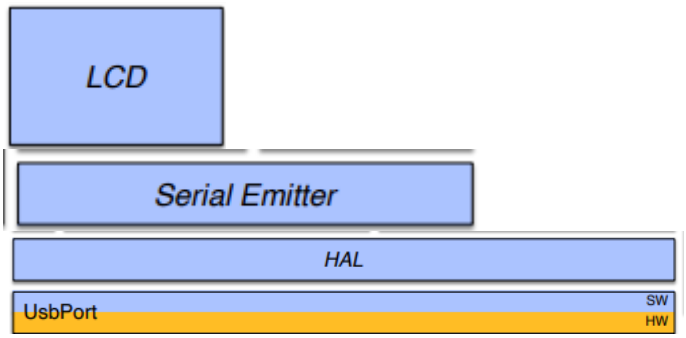


Figura 5 - interface LCD com Control

4.1 LCD

O LCD é a camada de software responsável por apresentar os dados no ecrã do LCD, e tem uma interface de 4 bits(nibble). Este módulo tem as funções writeNibbleParallel e writeNibbleSerial, responsáveis por escrever um nibble de dados ou comandos no LCD e é no writeNibble() onde se decide se a informação é transmitida em paralelo ou em série. Também é responsável pelos comandos de limpar o ecrã (clear()) e posicionar o cursor em uma posição desejada(cursor()), relativamente ao data usamos as funções write para escrever uma string, ou escrever um char.

5 Conclusões

Para concluir, podemos salientar que o módulo LCD Dispatcher podia ter sido otimizado no sentido em que, em vez de dividir a frequência de relógio, podia ser implementado um contador para aguardar um determinado número de clocks e não ir de imediato do estado 01 para o estado 10.A frequência de relógio dividida no clock div podia ser um valor menor , mas não deu para ser testado na placa.

A. Descrição VHDL do bloco *Serial Receiver*

```
LIBRARY ieee;
USE ieee.STD_LOGIC_1164.ALL;

entity serial_receiver is port (
      SDX : in std_logic;
      SCLK : in std_logic;
      MCLK : in std_logic;
      reset : in std_logic;
      not_SS : in std_logic;
      accept : in std_logic;
      D : out std_logic_vector (4 downto 0);
      DXval : out std_logic;
      busy : out std_logic
);

end serial_receiver;

architecture arq of serial_receiver is

component shift_register is port (
      data: in std_logic;
      clk : in std_logic;
      enable : in std_logic;
      D: out std_logic_vector (4 downto 0);
      reset : in std_logic

);
end component;

component counter is port (
      reset : in std_logic;
      ce : in std_logic;
      clk : in std_logic;
      Q : out std_logic_vector (3 downto 0)

);
end component;
component serial_control is port (
      enRx : in std_logic;
      accept : in std_logic;
      eq5 : in std_logic;
      clr : out std_logic;
      wr : out std_logic;
      DXval : out std_logic;
      reset : in std_logic;
      clk : in std_logic
   );
end component;


signal s_wr, s_clr, c5_s : std_logic;
signal d_s : std_logic_vector (3 downto 0);


begin
u_counter : counter port map (
      clk => SCLK,
      ce => '1',
      reset => s_clr,
      Q(3) => d_s(3),
      Q(2) => d_s(2),
      Q(1) => d_s(1),
      Q(0) => d_s(0)
);


u_shift_register: shift_register port map(
      data => SDX,
      clk => SCLK,
      enable => s_wr,
      D => D,
      reset => reset
);

u_serial_control: serial_control port map (
      enRx => not_SS,
      accept => accept,
      clr => s_clr,
      wr => s_wr,
      eq5 => c5_s,
      DXval => DXval,
      clk => MCLK,
      reset => reset
);


c5_s <= (d_s(0) and not d_s(1) and d_s(2));


end arq;
```

B.Descrição VHDL do bloco *Dispatcher*

```
LIBRARY ieee;
USE ieee.STD_LOGIC_1164.ALL;

entity dispatcher is port (
      dval : in std_logic;
      din : in std_logic_vector (4 downto 0);
      wrl : out std_logic;
      dout : out std_logic_vector(4 downto 0);
      done : out std_logic;
      clk : in std_logic;
      reset : in std_logic
);
end dispatcher;

architecture arq of dispatcher is

type STATE_TYPE is (STATE_INITIAL, STATE_WAITING, STATE_DONE);

signal currentState, nextState: STATE_TYPE;

begin

currentState <= STATE_INITIAL when reset = '1' else nextState when rising_edge(clk);

generatenextState:
process(currentState, dval)
    begin
        case currentState is
            when STATE_INITIAL    => if (dval = '1') then
                                        nextState <= STATE_WAITING;
                                     else
                                        nextState <= STATE_INITIAL;
                                     end if;

            when STATE_WAITING    => nextState <= STATE_DONE;

            when STATE_DONE    => if (dval = '0') then
                                        nextState <= STATE_INITIAL;
                                     else
                                        nextState <= STATE_DONE;
                                     end if;

end case;
end process;

-- generate outputs
wrl <= '1' when (currentState = STATE_WAITING) else '0';

done <= '1' when (currentState = STATE_DONE) else '0';

dout <= din;

end arq;
```

D- Código Kotlin- LCD

```
import isel.leic.utils.Time
object LCD { // Escreve no LCD usando a interface a 4 bits.
    //private const val LINES = 2 // Dimensão do display.
    //private const val COLS = 16 // Dimensão do display.
    private const val LCD_RS = 0x20
    private const val LCD_ENABLE = 0x40 // 0b0100_0000
    private const val LCD_DATA = 0x1E
    private const val CLEAR_DISPLAY = 0x01
    private var state = false
    private const val CMD_DISPLAY_LENGHT = 0x28 //0b0000_1100
    private const val CMD_DISPLAY_ENTRY_MODE = 0x06 // 0b0000_0110
    private const val CMD_DISPLAY_OFF = 0x08 // 0b0000_1000
    private const val CMD_DISPLAY_ON = 0x0F // 0b0000_1111
    private const val CMD_DISPLAY_CLEAR = 0x01 //0b0000_0001


    // Escreve um nibble de comando/dados no LCD em paralelo
    private fun writeNibbleParallel(rs: Boolean, data: Int) {
        HAL.writeBits(LCD_DATA, data shl 1)
        if (rs) HAL.setBits(LCD_RS) else HAL.clrBits(LCD_RS)
        Time.sleep(1)
        HAL.setBits(LCD_ENABLE)
        Time.sleep(1)
        HAL.clrBits(LCD_ENABLE)
        Time.sleep(1)

    }

    // Escreve um nibble de comando/dados no LCD em série
    // rs: false -> comando; true -> dado
    private fun writeNibbleSerial(rs: Boolean, data: Int) {
        val rsToInt = if (rs) 1 else 0
        val newData = data.shl(1) or rsToInt
        SerialEmitter.send(SerialEmitter.Destination.LCD,newData)
    }

    // Escreve um nibble de comando/dados no LCD
    private fun writeNibble(rs: Boolean, data: Int) {
        if (state) writeNibbleParallel(rs,data) else writeNibbleSerial(rs,data)
    }

    // Escreve um byte de comando/dados no LCD
    private fun writeByte(rs: Boolean, data: Int) {
        writeNibble(rs,data shr 4)
        writeNibble(rs,data and 0x0F)
        Time.sleep(2)
    }

    // Escreve um comando no LCD
    private fun writeCMD(data: Int) {
        writeByte(false, data)
    }

    // Escreve um dado no LCD
    private fun writeDATA(data: Int) {
        writeByte(true, data)
    }

    // Envia a sequência de iniciação para comunicação a 4 bits.
    fun init() {
```

```
        Time.sleep(15)
        writeNibble(false, 0x03)
        Time.sleep(5)
        writeNibble(false, 0x03)
        Time.sleep(1)
        writeNibble(false, 0x03)
        writeNibble(false, 0x02)
        writeCMD(CMD_DISPLAY_LENGHT)
        writeCMD(CMD_DISPLAY_OFF)
        writeCMD(CMD_DISPLAY_CLEAR)
        writeCMD(CMD_DISPLAY_ENTRY_MODE)
        writeCMD(CMD_DISPLAY_ON)
    }

    fun write(c: Char) {
        writeDATA(c.code)
    }

    fun write(text: String) {
        for (c in text) {
            write(c)
        }
    }

    // Envia comando para posicionar cursor ('line':0..LINES-1 , 'column':0..COLS-1)
    fun cursor(lin: Int, col: Int) {
        writeCMD( (lin * 0x40 + col) or 0x80) // colocar bit de maior peso a 1
    }

    // Envia comando para limpar o ecrã e posicionar o cursor em (0,0)
    fun clear() {
        writeCMD(CLEAR_DISPLAY)
    }
}


fun main(){
    HAL.init()
    LCD.init()
    LCD.cursor(0,0)
    LCD.write("hey word")
    Time.sleep(5000)
    LCD.clear()
    Time.sleep(200)
    while (true){
        LCD.cursor(0,0)
        LCD.write("0123456789ABCDEF")
        LCD.cursor(1,0)
        LCD.write("0123456789ABCDEF")
    }

}
```