

Universidade Federal de Goiás
Regional Catalão
Unidade Acadêmica Especial de Biotecnologia
Curso de Bacharelado em Ciências da Computação

Arquitetura de Computadores

**Marco Túlio Macedo Rodrigues, Pablo Vinicius da Silva, Vitor
do Vale Bernardo**

**Marco Túlio Macedo Rodrigues, Pablo Vinicius da Silva, Vitor do
Vale Bernardo**

Arquitetura de Computadores

Monografia apresentada ao Curso de
Bacharelado em Ciências da Computação da
Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão,
como parte dos requisitos para obtenção do
grau de Bacharel em Ciências da Computação.
VERSÃO REVISADA

Orientador: Prof. Dr. Tércio Alberto dos
Santos Filho

Catalão – GO

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

, Marco Túlio Macedo Rodrigues, Pablo Vinicius da Silva, Vitor do
Vale Bernardo

Arquitetura de Computadores [manuscrito] / Marco Túlio Ma-
cedo Rodrigues, Pablo Vinicius da Silva, Vitor do Vale Bernardo .

—

.

45 p.: il.

Orientador: Prof. Dr. Tércio Alberto dos Santos Filho

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Goiás, Uni-
dade Acadêmica Especial de Biotecnologia, Ciências da Computa-
ção,

.

Bibliografia.

1. Arquitetura. 2. Computadores. 3. Microcontroladores.
4. PWP. 5. SPI. I. Filho, Tércio Alberto dos Santos, orient. II.
Título.

CDU 004

**Marco Túlio Macedo Rodrigues, Pablo Vinicius da Silva, Vitor do
Vale Bernardo**

Arquitetura de Computadores

Monografia apresentada ao curso de
Bacharelado em Ciências da Computação da
Universidade Federal de Goiás – Regional
Catalão.

Trabalho aprovado em 06 de de

Tércio Alberto dos Santos Filho
Orientador

Catalão – GO

*Este trabalho é dedicado a todas as pessoas que,
Sonham em aprender mais sobre eletrônica.
Em especial, aos graduando em ciências exatas
De quaisquer universidades, particulares e públicas.*

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos principais são direcionados à Deus que até aqui nós sustentou e nos ajudou a prevalecer.

Agradecimentos especiais são direcionados ao professor Dr. Tércio Alberto Santos Filho que sempre se dispôs à ajudar os alunos da disciplina e nunca mediu esforços para sanar as dúvidas de seus alunos, seja fora ou dentro de sala. Deixamos aqui nossos mais sinceros agradecimentos.

*“As invenções são, sobretudo,
o resultado de um trabalho de teimoso.”
(Santos Dumont)*

RESUMO

NOME PARA REFERÊNCIA. **Arquitetura de Computadores.**

. 45 p. Monografia (Graduação) – Unidade Acadêmica Especial de Biotecnologia, Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão – GO.

Este trabalho é desenvolvido para a disciplina de Arquitetura de Computadores pela Universidade Federal de Goiás. O trabalho visa no desenvolvimento de 3 projetos, onde cada projeto visa trazer conhecimentos em diferentes da área disciplina. Estaremos abordando diferentes temas: PWM, Sleep Mode, Comunicação SPI.

Palavras-chave: Arquitetura, Computadores, Microcontroladores, PWP, SPI.

ABSTRACT

NOME PARA REFERÊNCIA. **Arquitetura de Computadores.**

. 45 p. Monografia (Graduação) – Unidade Acadêmica Especial de Biotecnologia, Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão – GO.

This work is developed for a discipline of Computer Architecture by the Federal University of Goiás. The work aims at the development of 3 projects, where each project aims to bring knowledge in different disciplines area. We will be addressing different topics: PWM, Sleep Mode, SPI Communication.

Keywords: Architecture, Computer, Microcontrollers, PWP, SPI .

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Duty Cicle	23
Figura 2 – Esquemático: Fading LED	25
Figura 3 – Montagem: Fading LED	25
Figura 4 – Esquemático: Sleep Mode	31
Figura 5 – Montagem: Sleep Mode	31
Figura 6 – Master and Slaves	35
Figura 7 – Pinos do SPI	36
Figura 8 – SPI: Esquemático da montagem	37
Figura 9 – SPI: Montagem na Protoboard	37

LISTA DE CÓDIGOS-FONTE

Código-fonte 1 – Fading LED	25
Código-fonte 2 – Led On/Off in Sleep Mode	31
Código-fonte 3 – MASTER - Comunicação via SPI entre dois dispositivos	38
Código-fonte 4 – SLAVE - Comunicação via SPI entre dois dispositivos	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	PROJETO 1: FADING LED	23
2.1	O que é PWM ?	23
2.2	PWM no atmega8	24
2.3	Esquemático e Montagem	24
2.4	Código em C	25
3	PROJETO 2: SLEEP MODE	29
3.1	O que é Sleep Mode?	29
3.2	Registradores usados	29
3.3	Funções do Sleep Mode	30
3.4	Esquemático e Montagem	30
4	PROJETO 3: COMUNICAÇÃO SPI	35
4.1	O que é o Padrão SPI?	35
4.2	Registradores do SPI	36
4.3	Esquemático e Montagem	36
4.4	Código em C	37
5	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	45

INTRODUÇÃO

Neste trabalho serão apresentados alguns projetos, desenvolvidos sobre a linguagem C, utilizando de algumas funções específicas para uso em microcontroladores. Será utilizado um microcontrolador da Atmel, mais especificamente do modelo ATMega8.

Estes projetos possuem o intuito de proporcionar a experiência de trabalhar com os registradores para a solução de alguns problemas propostos, simulando o uso de determinadas ferramentas, funções e protocolos.

Serão abordados três projetos com os seguintes temas:

1. Uso da Modulação por largura de pulso (MLP) para o controle de frequência / largura de pulso, permitindo controlar a intensidade do brilho de um LED
2. Formas de economia do consumo de energia e recursos computacionais em circuitos, utilizando o sistema em modo sleep mode
3. Formas de dois dispositivos distintos se comunicarem e trocarem informações que permitam ligar e desligar um LED, utilizando o padrão Serial Peripheral Interface (SPI), um protocolo que permite a intercomunicação entre dois ou mais microcontroladores

Durante a discussão dos projetos, serão apresentadas as definições dos termos MLP, SPI e sleep mode, as informações sobre todos os registradores, e funções que serão utilizados em cada um desses temas, além dos esquemáticos e montagem dos circuitos dos projetos e os seus respectivos códigos em C.

PROJETO 1: FADING LED

Desenvolva um projeto que através de um potenciômetro aumente ou diminua a frequência de uma determinada saída X utilizando PWM.

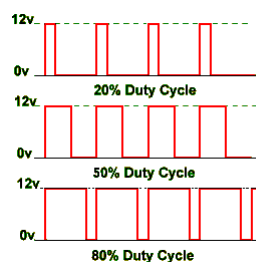
2.1 O que é PWM ?

A tecnologia Pulse Width Modulation (PWM) ou no português Modulação de Largura de Pulso permite que os microcontroladores atenuem as luzes, controle a velocidade de motores e gerem tensões analógicas. Isso é feito alterando o comprimento do pulso, permitindo assim a saída ser controlada.

Neste projeto iremos controlar a intensidade de brilho de um LED utilizando a saída (PINB0) PWM do microcontrolador: atmega8.

O pulso ocorre em uma frequência regular, neste caso na frequência de modulação. Chamamos de Ciclo de trabalho (Duty Cycle) a razão entre o tamanho do pulso pelo período de tempo. Logo, quanto maior é o tempo de trabalho maior também será a saída. Portanto, quando alteramos essa saída que alimenta o LED, alteramos a intensidade do seu brilho também.

Figura 1 – Duty Cycle



Fonte: [avrprojects](#) (2017).

2.2 PWM no atmega8

Todos os projetos aqui desenvolvidos serão utilizando o microcontrolador: ATmega8. Ele pode ser usado para gerar sinais PWM. Um microcontrolador como o ATmega8 tem três canais de hardware PWM a bordo do chip. Para o desenvolvimento deste trabalho estaremos utilizando o sinal PWM que está no pino PORTB0.

O PWM de hardware pode ser programado configurando os registradores do temporizador. O ATmega8 tem três registradores de temporizador que você precisa definir para programar o PWM:

1. O registrador TCCR1A deverá colocar o temporizador no modo PWM.
2. Os registradores TCNT1H e TCNT1L são usados para ajustar a frequência de modulação
3. O registrador OCR1A é usado para ajustar o ciclo de trabalho.

(BRAGA,)

2.3 Esquemático e Montagem

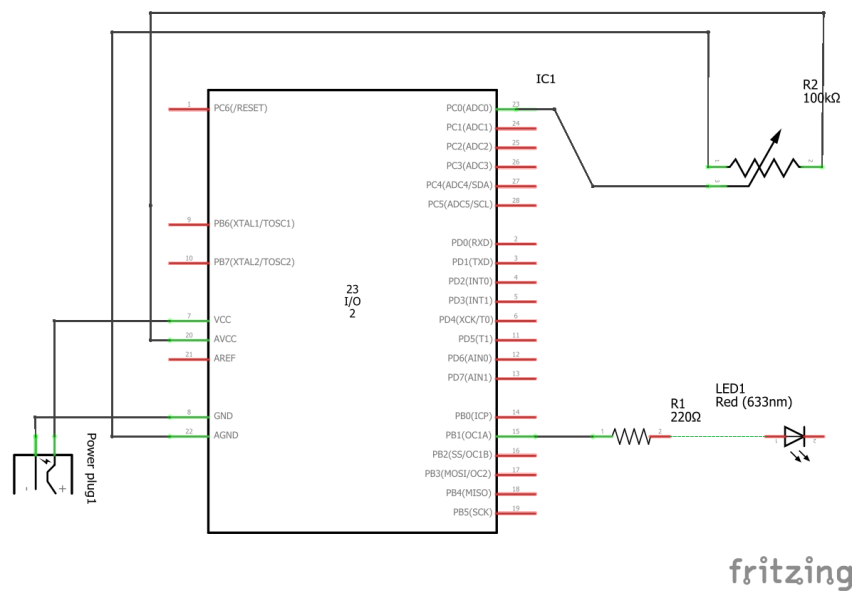
O circuito consiste em ligar um microcontrolador ATmega8, onde que iremos ligar um LED conectador no pino PORTB0, através de um resistor de 220 ohm.

Pretendemos variar o brilho do LED através dos valores fornecidos pelo potenciômetro conectado no pino PORTC0. Os valores serão lidos pela porta analógica do ATmega8, que neste caso se encontra no PORTC0.

Veja o esquemático da montagem na figura 2.

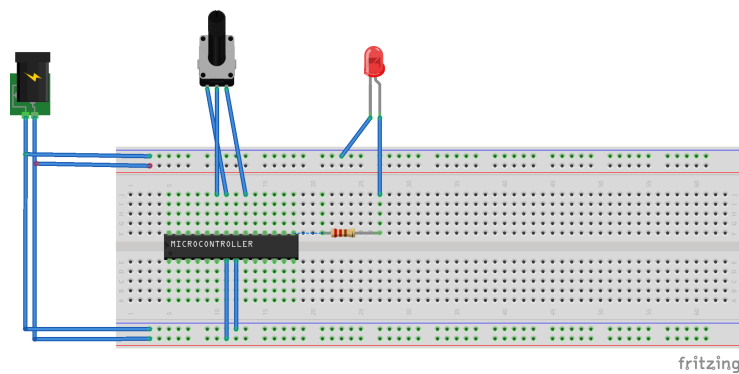
Veja também o circuito montado na protoboard na figura 3.

Figura 2 – Esquemático: Fading LED



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3 – Montagem: Fading LED



Fonte: Elaborada pelo autor.

2.4 Código em C

Código-fonte 1 – Fading LED

```
1:
2: /*
   *****
3: *      Fading Led
```

```

4:  *
5:  * Universidade Federal de Goiás
6:  * Microcontrolador Utilizado: AVR ATmega8
7:  * Grupo: Marco Túlio / Vitor do Vale Bernardo / Pablo Silva
8:  * Descrição: O código recebe os valores lido na entrada PWM
   * atraves de um/
9:  * Potenciometro e irá ligar o LED proporcionalmente.
10: *
11:
   *****
   */
12:
13: #define FOSC 1000000UL // Clock Speed
14: #define BAUD 1200
15: #define MYUBRR ((FOSC/ (BAUD * (long)16)))
16:
17: #include <avr/io.h>
18: #include <util/delay.h>
19: #include <util/setbaud.h>
20: #include <avr/eeprom.h>
21: #include <avr/interrupt.h>
22:
23: void USART_Init( unsigned intubrr);
24: void USART_Transmit(unsigned char data);
25: unsigned char USART_Receive(void);
26: uint16_t ReadADC(uint8_t ch);
27: void InitADC();
28:
29:
30: int main(void)
31: {
32:
33:   //PWM Initialisation
34:   TCCR1A = 0b10000001; // fast PWM mode 8-bit on OC1A
35:   TCCR1B = 0b00001010; // prescaling by 8
36:
37:   //Initial value;
38:   OCR1A = 0x00;
39:   DDRB = 0xFF; // set port B for output
40:
41:
42:   unsigned char lei;

```

```
43:  InitADC();
44:  USART_Init(MYUBRR);
45:  while(1)
46:  {
47:      OCR1A =ReadADC(0);
48:      _delay_ms(10);
49:  }
50: }
51:
52: void USART_Transmit(unsigned char data)
53: {
54:     while( !( UCSRA & (1<<UDRE)) );
55:     UDR = data;
56: }
57:
58:
59: void USART_Init(unsigned int ubrr)
60: {
61:     UBRRH=(unsigned char)(ubrr>>8);
62:     UBRRL=(unsigned char)ubrr;
63:     UCSRB=(1<<RXEN)|(1<<TXEN);
64:     UCSRC=(1<<URSEL)|(1<<USBS)|(3<<UCSZ0);
65: }
66:
67: unsigned char USART_Receive(void)
68: {
69:     while(!(UCSRA & (1<<RXC)));
70:     return UDR;
71: }
72:
73:
74: void InitADC()
75: {
76:     ADMUX=(1<<REFS0);           // For Aref=AVcc;
77:     ADCSRA=(1<<ADEN)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0); //
        Rrescalar div factor =128
78: }
79:
80:
81: uint16_t ReadADC(uint8_t ch)
82: {
83:
```

```
84:  //Seleciona o canal de leitura do microcontrolador
85:  ch=ch&0x07;
86:  ADMUX |=ch;
87:  //inicia a conversão
88:  ADCSRA |=(1<<ADSC);
89:  //Aguarda a conversão
90:  while(!(ADCSRA & (1<<ADIF)));
91:  //Limpa a flag
92:  ADCSRA |=(1<<ADIF);
93:  //retorna o dado
94:  return(ADC);
95: }
```

([AVRPROJECTS](#),)

PROJETO 2: SLEEP MODE

Desenvolva um projeto que desligue um LED e mantenha desligado em um determinado período de tempo. No período em que o LED estiver desligado, todo o sistema deve entrar em sleep mode. Depois de um determinado tempo, o sistema deve ser ativado e ligar o LED novamente.

3.1 O que é Sleep Mode?

Podemos utilizar a instrução SLEEP para reduzir fortemente o consumo de energia por uma determinada aplicação. Os dispositivos AVR podem ser colocados em diferentes modos de sleep, neste caso o dispositivo AVR que estamos trabalhando é ATmega8.

A biblioteca sleep.h possui diferentes macros para colocar o dispositivo em modo de suspensão. A forma mais simples é opcionalmente configurando o modo de suspensão desejado utilizando a função: set_sleep_mode, (O padrão é o modo ocioso onde que CPU é coloca no modo de suspensão, mas todos os relógios e periféricos ainda estão em execução) e em seguida devemos ativar o modo de sleep usando a função: sleep_mode.

3.2 Registradores usados

O modo de comparação de saída é usado para executar sincronização repetida. O valor em TCNT1 (que está contando se não for interrompido pelos bits de seleção do pré-escalador) é permanentemente comparado com o valor em OCR1A.

Quando esses valores são iguais entre si, a interrupção é gerado e a função ISR() é chamada.

1. OCR1A: É um registrador de saída que pode ser usado para gerar uma interrupção após

determinados ciclos de clock. Ele é permanentemente comparado ao TCNT1. Quando ambos coincidem, a interrupção de comparação é acionada.

2. TCNT: É o registrador mais importante, pois ele é um registrador de tempo base para todos os outros registradores do microcontrolador. Ele pode realizar contagem de tempo do clock do sistema, entre outras contagens conforme a necessidade do desenvolvedor.
3. TCCR : é um registrador utilizado para definir o modo temporizador, o pré-escalador e outras opções.

3.3 Funções do Sleep Mode

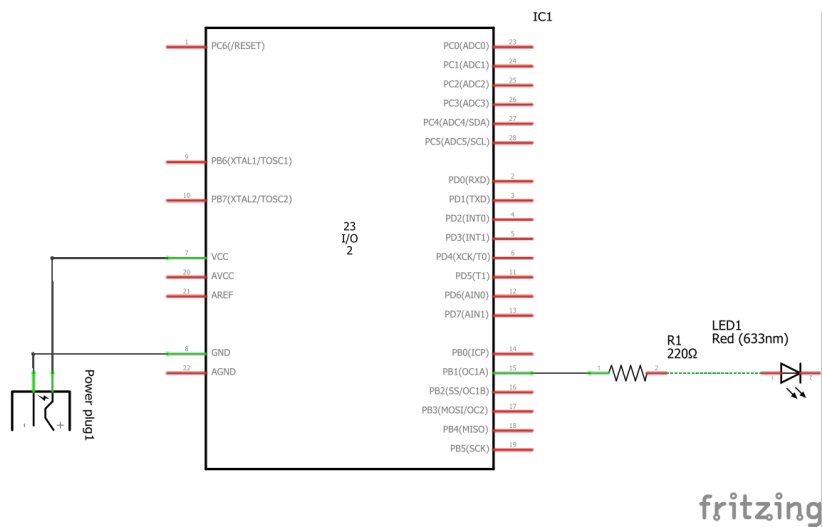
1. sei(): Ativa as interrupções.
2. set_sleep_mode(SLEEP_MODE_IDLE): Define o modo do sleep que iremos desejamos. Neste caso estamos definindo o modo IDLE, onde que a CPU fica parada porém os periféricos e interrupções continuam funcionando. A CPU volta a sua execução ao ocorrer umas dessas interrupções.
3. sleep_enable(): Coloca o dispositivo no modo de suspensão. A maneira que o dispositivo deverá sair do modo de suspensão varia de acordo com o modo de suspensão selecionado.
4. sleep_disable(): limpa o bit Sleep Enable (SE).
5. cli(): Desativa as interrupções.

(CHUGH,)

3.4 Esquemático e Montagem

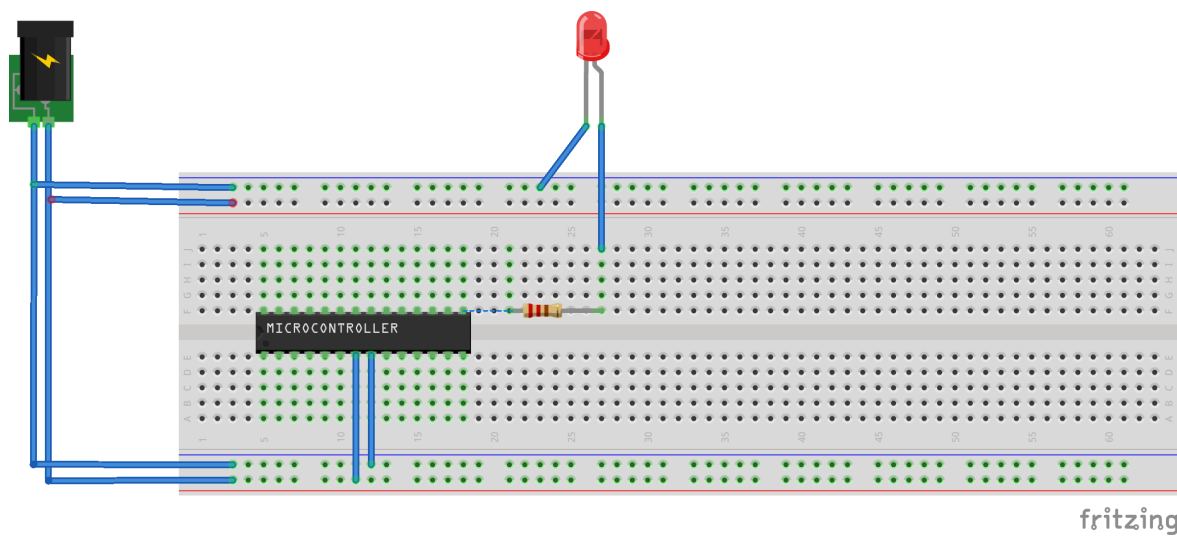
Este projeto tem como objetivo simular o uso do “sleep mode” em um circuito. Quando este modo está ativado, todo o sistema fica em espera, com um baixo uso de recursos, aguardando para voltar ao estado normal quando requisitado. Para o auxílio do projeto, será utilizado um LED para sinalizar quando o sistema entrou e saiu de fato do “sleep mode”. O LED ligado indica que o sistema está operando normalmente. Ao desligar o LED, o sistema deve então simultaneamente entrar em “sleep mode” durante um tempo determinado previamente. Após o fim desse tempo, o sistema então retornará ao seu estado normal e o LED deve ser religado.

Figura 4 – Esquemático: Sleep Mode



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 5 – Montagem: Sleep Mode



Fonte: Elaborada pelo autor.

Código-fonte 2 – Led On/Off in Sleep Mode

```
1:
2:
3: /*
*****

4: *      Led On/Off - Utilizando Sleep Mode
5: *
6: * Universidade Federal de Goiás
7: * Microcontrolador Utilizado: AVR ATmega8
```

```

8:  * Grupo: Marco Túlio / Vitor do Vale Bernardo / Pablo Silva
9:  * Descrição: Ligar e desligar um LED utilizando o modo sleep.
10: *
11:
12:      ****
13:      */
14:
15: #define F_CPU 1000000L
16: #include <avr/io.h>
17: #include <avr/interrupt.h>
18: #include <avr/sleep.h>
19: #include <util/delay.h>
20:
21: void USART_Init(unsigned int ubrr);
22: void USART_Transmit(unsigned char data);
23: unsigned char USART_Receive(void);
24:
25: unsigned char i=5;
26:
27: ISR(TIMER1_COMPA_vect){
28:     i--;
29:     if(i==0){
30:         sleep_disable();
31:         cli();
32:         PORTB = (1<<PB1);
33:     }
34: }
35:
36: int main(){
37:     DDRB = (1<<DDB1);
38:     PORTB = (1<<PB1);
39:
40:     i = USART_Receive(); //Recebe o valor pela serial
41:
42:     OCR1A = (F_CPU/1024)-1; //((Frequencia/Prescaler)*tempo)-1
43:
44:     TCCR1B |= (1<<WGM12); // Realiza a comparação com OCR1A
45:     TIMSK |= (1<< OCIE1A); //Interrup on Compare
46:
47:     TCCR1B |= (1<<CS12)|(1<<CS10); //Prescaler 1024
48:
49:     _delay_ms(2000);

```

```
48:  PORTB = (0<<PB1);
49:
50:  sei(); // Ativa as interrupções
51:  set_sleep_mode(SLEEP_MODE_IDLE);
52:  sleep_enable();
53:  sleep_mode();
54:
55:  while(1){
56:
57:  }
58: }
59:
60: void USART_Transmit(unsigned char data)
61: {
62:   while(!(UCSRA & (1 << UDRE)));
63:   UDR = data;
64: }
65:
66: void USART_Init(unsigned int ubrr)
67: {
68:   //Define a velocidade
69:   UBRRH = (unsigned char)(ubrr >> 8);
70:   UMSEL = (0)
71:   UBRRL = (unsigned char)ubrr;
72:   //Desativa a receber Dados / Ativa Receber Dados
73:   UCSRB = (0 << RXEN) | (1 << TXEN);
74:
75:   //Define o formato
76:   UCSRC = (1 << URSEL) | 0 << UMSEL | (1 << USBS) | (3 << UCSZ0)
       ;
77: }
78:
79: unsigned char USART_Receive(void)
80: {
81:   while(!(UCSRA & (1 << RXC)));
82:   return UDR;
83:
84: }
```

PROJETO 3: COMUNICAÇÃO SPI

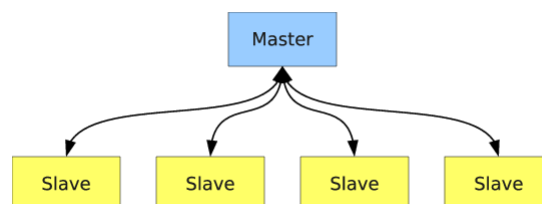
Desenvolva um projeto que realize a comunicação entre dois microcontroladores utilizando o padrão SPI.

4.1 O que é o Padrão SPI?

Neste trabalho iremos mostrar uma das diversas tecnologias diferentes existentes para fazer a comunicação serial entre dois dispositivos. Durante o decorrer deste estaremos trabalhando com o padrão Serial Peripheral Interface (SPI).

Na comunicação serial síncrona definimos também o conceito de Mestre-Escravo. Normalmente o gerador do sinal de sincronismo é definido como o Mestre (Master) da comunicação. Para os dispositivos que utilizam do sinal de sincronismo gerado damos a definição de Escravo (Slave). A ligação mais comum desse tipo de comunicação é um Master e vários Slaves.

Figura 6 – Master and Slaves



Fonte: [embarcados \(2017\)](#).

Os pinos básicos de comunicação entre dispositivos utilizando o protocolo SPI e o esquema padrão de ligação são dados conforme abaixo:

O sinal de SS funciona como Seleção de Escravo (Slave Select). É um sinal ativo em nível baixo, o que significa que o dispositivo é selecionado quando este pino se encontra em nível

Figura 7 – Pinos do SPI

Pino	Nome Padrão	Significado	Nomes Alternativos
Do Master para o Slave	MOSI	Master Output Slave Input	SDO, DO, SO
Do Slave para o Master	MISO	Master Input Slave Output	SDI, DI, SI
Clock	SCLK	Serial Clock	SCK, CLK
Seleção de Slave	SS	Slave Select	CS, nSS, nCS

Fonte: [embarcados \(2017\)](#).

baixo. No entanto, muitos dispositivos utilizam este sinal como sincronismo de frame. Dessa forma, é um sinal importante que deve ser respeitado.

4.2 Registradores do SPI

1. MOSI: Master Output Slave Input (MOSI), é um pino utilizado para transferir os dados provenientes do mestre ao escravo.
2. MISO: Master Input Slave Output (MISO), é um pino utilizado para transferir os dados provenientes do escravo ao mestre.
3. SCK: Define a velocidade de clock em que o mestre e os escravos se comunicam.
4. SS: Slave Select (SS) é o pino que controla com qual dispositivo escravo o mestre irá se comunicar.
5. SPCR: Registrador de controle do SPI.
6. SPDR: Registro de dados do SPI (SPDR), que trata-se de um registrador de leitura / gravação utilizado para a transferência de dados entre o Registrador de Arquivo e o Registrador de Mudança do SPI.
7. SPSR: Registrador de status do SPI.
8. SPIF: SPI Interrupt Flag (SPI) é um bit de apenas leitura do registrador SPSR, que é definido pelo hardware quando uma transferência serial é concluída.

([REDECKER](#),)

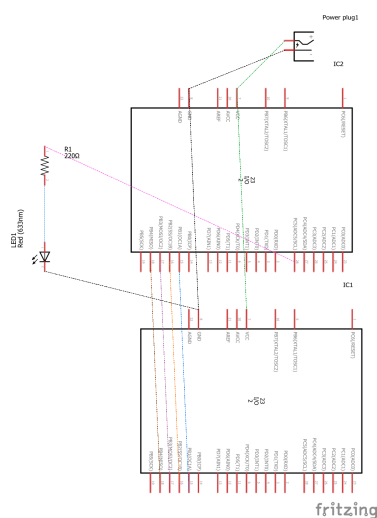
4.3 Esquemático e Montagem

Neste projeto realizaremos a comunicação entre dois microcontroladores distintos com o uso do padrão Serial Peripheral Interface (SPI), que trata-se de um protocolo que permite a

comunicação de um microcontrolador com diversos outros componentes, formando uma rede. Os dois microcontroladores utilizados serão identificados por mestre e escravo (master / slave). O mestre será encarregado de enviar os comandos através da comunicação serial, enquanto o escravo é encarregado de receber, interpretar e executar uma determinada ação com base nos dados recebidos. Os comandos enviados de um microcontrolador são um indicador de qual será o estado de um LED, ligado ou desligado.

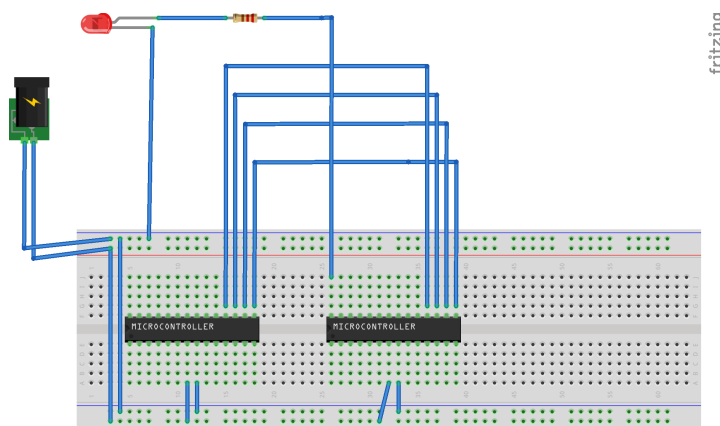
Veja o esquemático na imagem abaixo:

Figura 8 – SPI: Esquemático da montagem



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 9 – SPI: Montagem na Protoboard



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4 Código em C

O código para este projeto é dividido em duas partes: Código do Master e o Código do Slave.

Código-fonte 3 – MASTER - Comunicação via SPI entre dois dispositivos

```

1:
2:  /*
   ****

3:  *      Comunicação entre dois Microcontroladores Utilizando
      SPI (Master)

4:  *

5:  * Universidade Federal de Goiás
6:  * Microcontrolador Utilizado: AVR ATmega8
7:  * Grupo: Marco Túlio / Vitor do Vale Bernardo / Pablo Silva
8:  * Descrição: Código Master irá enviar comandos pela comunicação
      o SPI para o slave

9:  *      O comando ira dizer o estado do LED: ligado ou
      desligado.

10: *

11:
   ****
   */

12:
13:
14: #define F_CPU 4000000UL          // clock do microcontrolador
15: #include <avr/io.h>
16: #include <util/delay.h>
17: #include <avr/interrupt.h>
18:
19: //////////////////////////////////////configuração dos pinos utilizados
   //////////////////////////////////////

20:
21: #define MOSI          PB3
22: #define MISO          PB4
23: #define SCK           PB5
24: #define SS            PB2
25:
26: //
   //////////////////////////////////////

27: void SPI_inicializa(void)
28: {
29:     DDRD =0xFF;
30:     DDRB |= ((1<<MOSI)|(1<<SCK)|(1<<SS));    //MOSI, SCK and

```



```

    SS são saídas(se for usar dois mestres então deve-se o SS
    como entrada)
31:     DDRB &= (~(1<<MISO));           //MISO é entrada
32:     PORTB |= (1<<SS);               //inicia com SS
    em nível alto
33:     //SPE : habilita SPI
34:     //MSTR: modo Master
35:     //SPIE: habilita interrupção de SPI
36:     //SPCR = ((1<<SPE)|(1<<MSTR)|(1<<SPR1)|(1<<SPR0));    //(1<
    SPR1)|(1<<SPR0) : FOSC/128
37:     SPCR = ((1<<SPE)|(1<<MSTR)|(1<<SPR0));    //(1<<SPR0) :
    FOSC/16
38: }
39:
40: void SPI_envia_byte(char dados)
41: {
42:     PORTB &= (~(1<<SS));    //coloca SS em nível baixo (0),
    para transferir dados
43:     SPDR = dados;          //inicializa transferencia
44:     while(!(SPSR & (1<<SPIF)));    //espera fim de transmissã
    o
45:     PORTD = SPDR; //escreve no port D o dado recebido
46:     PORTB |= (1<<SS);    //coloca SS em nível alto (1), pois
    é o fim da transmissão.
47:     _delay_ms(1); //tempo para slave colocar dados no
    registrador
48: }
49:
50: int main(void)
51: {
52:
53:     SPI_inicializa(); //inicializa SPI
54:     sei(); //habilita interrupções
55:
56:     while(1)
57:     {
58:         SPI_envia_byte(0X01); /*** Envia o primeiro comando:
    LIGAR LED***/
59:         _delay_ms(1000); /*** Delay de 1 segundo ***/
60:         SPI_envia_byte(0x00); /*** Envia o segundo comando:
    DESLIGAR LED ***/
61:         _delay_ms(1000); /*** Delay de 1 segundo ***/

```

```

62:  }
63:
64:    return 0;
65:  }

```

Código-fonte 4 – SLAVE - Comunicação via SPI entre dois dispositivos

```

1:
2:
3:  /*
    ****
4:  *      Comunicação entre dois Microcontroladores Utilizando
      SPI (Slave)
5:  *
6:  *  Universidade Federal de Goiás
7:  *  Microcontrolador Utilizado: AVR ATmega8
8:  *  Grupo: Marco Túlio / Vitor do Vale Bernardo / Pablo Silva
9:  *  Descrição: Código Slave irá receber os dados enviados pelo
      Master e colocara no PORTD,
10:  *      Ligando e desligando o LED.
11:  *
12:
    ****
    */
13:
14:  #define F_CPU 4000000UL  // Definindo o Clock do
      Microcontrolador
15:  #include <avr/io.h>
16:  #include <avr/interrupt.h>
17:
18:  /*****
19:  *  Definindo os Registradores  *
20:  *****/
21:
22:  #define MOSI      PINB3  /*****Definindo o PINB3 como
      entrada*****/
23:  #define MISO      PINB4  /*****Definindo o PINB4 como saída
      *****/
24:  #define SCK       PINB5  /*****Definindo o PINB5 como
      entrada*****/
25:  #define DDR_SPI   DDRB

```

```

26:
27:     char enviar=0;
28:
29:     *****
30:     *   Inicializando           *
31:     *****/
32:
33:     void SPI_Slave_inicializa(void)
34:     {
35:         DDR_SPI = (1<<MISO);
36:         SPCR = (1<<SPE)/*|(1<<CPOL)*| (1<<SPIE); /*Aviva o
SPI / polaridade do clock / habilita interrupção de SPI ***
        */
37:     }
38:
39:     /*Vetor de Interrupção */
40:     ISR (SPI_STC_vect)
41:     {
42:         SPDR = enviar; //envia dado anteriormente recebido
43:         PORTD = SPDR;
44:         PORTC = SPDR;
45:         enviar = SPDR;
46:     }
47:
48:     *****
49:     *   Função Principal           *
50:     *****/
51:     int main(void)
52:     {
53:         SPI_Slave_inicializa();
54:         DDRD = 0xFF;
55:         DDRC = 0xFF;
56:         sei();
57:
58:         while(1){
59:
60:         }
61:
62:     }

```

CONCLUSÃO

Com a execução dos projetos propostos, foi possível notar que o uso de microcontroladores nos permite a resolução dos mais diversos problemas.

Com o uso do MLP, como no primeiro projeto, é possível simular uma frequência variável, geralmente aplicada em controle de motores elétricos, aquecedores, LEDs ou luzes em diferentes intensidades ou frequências.

Em situações desfavoráveis quanto ao uso de recursos energéticos, como em locais isolados, é possível utilizar de métodos para o controle e economia do uso desses recursos. Sleep mode trata-se de uma técnica utilizada em grande escala atualmente nos mais diversos sistemas, onde os componentes desnecessários são desativados e os componentes essenciais recebem apenas a quantidade mínima de energia para continuarem operando. O segundo projeto trata-se de simular o uso de um microcontrolador em sleep mode.

Para finalizar, o terceiro projeto traz uma forma de estabelecer uma comunicação entre dois microcontroladores, criando uma espécie de rede entre eles, onde é feita a troca de mensagens com comandos para ligar e desligar um LED. Para a criação dessa comunicação, é utilizado o protocolo SPI, onde de um lado temos um microcontrolador mestre e do outro podemos ter um ou mais microcontroladores escravos, e estes se comunicam via comunicação serial.

REFERÊNCIAS

AGUIVONE. Disponível em: <<http://microcontroladores-c.blogspot.com.br/2011/06/comunicacao-spi-entre.html>>. Acesso em: 04/03/2017. Citado na página 41.

AVRPROJECTS. Disponível em: <<http://www.avrprojects.net/index.php/avr-projects/led-s/20-fading-led-pwm?showall=1>>. Acesso em: 04/03/2017. Citado na página 28.

AVRPROJECTS. **PROECFading LED PWM**. 2017. Disponível em: <http://www.avrprojects.net/images/fading_led_pwm_pic1.png>. Acesso em: 06 MAR. 2017. Citado na página 23.

BRAGA, N. C. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>>. Acesso em: 04/03/2017. Citado na página 24.

CHUGH, P. Disponível em: <http://www.atmel.com/webdoc/avr/libc/reference/manual/group__avr_sleep.html>. Acesso em: 04/03/2017. Citado na página 30.

EMBARCADOS. **Comunicação SPI**. 2017. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/wp-content/uploads/2014/04/master_slave.png>. Acesso em: 06 MAR. 2017. Citado nas páginas 35 e 36.

REDECKER, C. Disponível em: <<http://avrbeginners.net/architecture/spi/spi.html#spdr>>. Acesso em: 2017-02-11. Citado na página 36.