

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**  
**Faculdade do Gama - FGA**  
Eletrônica Embarcada (120871)

**PONTO DE CONTROLE 1**

**Projeto:** Mini cortador de grama controlado por MSP430 (Minigrama)

*Débora Janini Campos Guedes*  
*Matrícula: 15/0008619*  
*E-mail: [deborajaninicg@gmail.com](mailto:deborajaninicg@gmail.com)*

*Maysa Paula Lacerda Cardoso*  
*Matrícula: 11/0133315*  
*E-mail: [maysa41@hotmail.com](mailto:maysa41@hotmail.com)*

**RESUMO**

Este documento apresenta a proposta para projeto final da disciplina de eletrônica embarcada, sendo este um mini cortador de grama microcontrolado. O projeto a ser desenvolvido visa principalmente na segurança do usuário, mas também no seu conforto.

**1. JUSTIFICATIVA**

O investimento na criação de robôs autônomos móveis vem do antigo desejo e, por vezes, da necessidade de reprodução de atitudes humanas por meio de máquinas. Equipamentos dessa natureza substituem trabalhadores em ambientes insalubres ou perigosos, poupando recursos humanos que podem ser aproveitados em áreas mais complexas. Pode-se adicionar à vantagem do uso desses robôs o fato de eles serem capazes de realizar tarefas de maneira mais precisa, além de trabalharem quase que ininterruptamente, desde que seja provida alimentação elétrica necessária durante todo o período.

Levando isso em consideração, o projeto proposto, que é um mini cortador de grama foi pensado a fim de promover comodidade e principalmente segurança dos usuários. Sabe-se que cortadores de grama convencionais podem gerar diversos acidentes com a lâmina do cortador ou até mesmo com

descargas elétricas; dessa forma, com um cortador de grama microcontrolado o usuário pode manter uma distância segura do cortador garantindo assim a sua salvaguarda e além disso, o usuário pode utilizar o mini cortador de onde quiser, já que este não precisa da presença física do usuário, garantindo um pouco mais de comodidade a ele.

Para realizar tal projeto será utilizado o microprocessador MSP430G2553 da Texas Instruments, que pode ser visto na figura 1.



Figura 1: MSP430

Sabe-se que a MSP430 é um microcontrolador de 16bit com uma arquitetura Von Neumann e ele serve para aplicações de baixa potência, que é o caso do projeto proposto; ele então será utilizado para controlar, por meio das portas, todos os motores e sensores a serem usados na construção.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste projeto é desenvolver um cortador de grama autônomo, utilizando um microcontrolador da família MSP430 da Texas Instruments que seja capaz de cortar grama em uma área fechada e plana com autonomia energética e que seja capaz de desviar de obstáculos, a fim de trazer aos usuários mais comodidade e segurança na hora de cortar a grama do que cortadores convencionais.

## 3. REQUISITOS

- Capacidade de desviar de obstáculos (Esse é um requisito importante no qual serão utilizados sensores para que seja necessária a mínima interferência humana possível)
- Velocidade mínima do Minigrama (Para um bom funcionamento do Minigrama é necessário uma velocidade mínima, e ao analisar o robô desenvolvido na referência 2, essa velocidade seria de 0.35 km/h)
- Tempo mínimo de autonomia (Novamente para se ter um bom funcionamento é preciso que o robô possa andar sozinho por um mínimo de tempo, que foi determinado como 15 minutos, além de carregamento relativamente rápido)
- Garantia de segurança mínima (Para realizar esta garantia é necessário o desligamento do motor para possíveis acidentes como exposição da lâmina e diminuição da rotação da lâmina próximo a obstáculos)

Além dos requisitos técnicos do projeto, tem-se também os requisitos básicos do protótipo do projeto em si, sendo eles:

- Sensores IR :esses sensores ópticos reflexivos serão responsáveis para identificação de objetos reflexivos, entre outros;
- Sensores Ultrassônicos estes sensores serão responsáveis por encontrar obstáculos e mensurá-los de maneira rápida e precisa;
- Módulo Ponte H: esse módulo será utilizado para controle dos sentidos dos motores para que o robô cortador possa se movimentar livremente de acordo com a área e obstáculos encontrados;
- Módulo Relé: ele será utilizado para controlar o motor responsável pelo corte da grama;
- Módulo Buzzer : servirá de alerta sonoro para o usuário
- Motores para as rodas do robô: serão responsáveis pela movimentação adequada;
- Motor de corte: motor de alta rotação para realizar o corte da grama
- Bateria de lítio de 12V/3A: será a fonte energética.
- Chassi: a estrutura e sustento do protótipo, que será dimensionado de acordo com os componentes e forma de movimentação designado em software.

## 4. DESENVOLVIMENTO

O projeto final construído é composto tanto por hardware quanto por software que irá controlar todo o sistema por meio do microcontrolador MSP430G2553.

O hardware do protótipo consiste em sensores e microcontrolador como entrada e motores como saída, conforme o diagrama de blocos da figura 2.

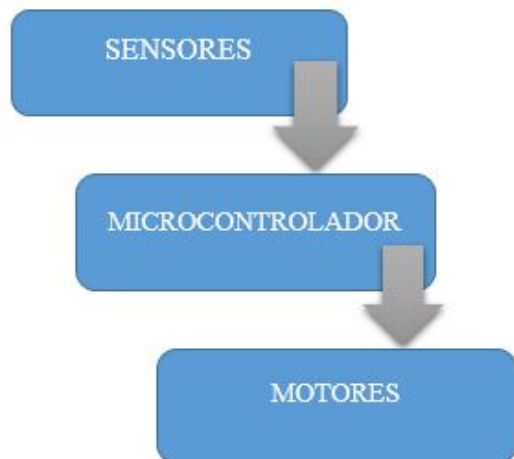


Figura 2: Diagrama de blocos do protótipo

#### 4.1) Sensores

##### 4.1.1) Sensor Ultrassônico

O sensor ultrassônico é muito utilizado para achar obstáculos e mensurá-los rapidamente com razoável precisão. No caso do projeto será usado o sensor ultrassônico HC-SR04, que é facilmente encontrado em lojas de componentes eletrônicos.

O sensor possui cerca de 15° de ângulo para detecção dos obstáculos e é capaz de medir distâncias de 2cm a 4m com ótima precisão. Ele possui um circuito pronto com emissor e receptor acoplados em 4 pinos (VCC, Trigger, ECHO e GND) para a devida medição. Na figura 3 tem-se uma imagem do módulo sensor com as suas pinagens.



Figura 3: Módulo sensor ultrassônico HC-SR04

Para começar a medição é necessário alimentar o módulo e colocar o pino Trigger em nível alto por mais de 10us. Assim, o sensor emitirá uma onda sonora que, ao encontrar um obstáculo, rebaterá de volta em direção ao módulo. Durante o tempo de emissão e recebimento do sinal, o pino ECHO ficará em nível alto. Logo, o cálculo da distância pode ser feito de acordo com o tempo em que o pino ECHO permaneceu em nível alto após o pino Trigger ter sido colocado em nível alto. O diagrama de tempos pode ser visto na figura 4.

Diagrama de tempo HC-SR04

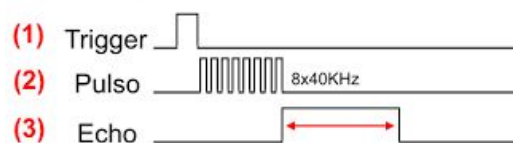


Figura 4: Diagrama de tempo do HC-SR04

Conforme o datasheet do sensor tem-se que a distância em metros é dado por:

$$d = \frac{\text{Tempo de resposta do sensor} * \text{Velocidade do som (340 m/s)}}{2}$$

Equação 1: distância do sensor em função do eco

A velocidade do som poder ser considerada idealmente igual a 340 m/s, logo o resultado é obtido em metros se considerado o tempo em segundos. Na fórmula, a divisão por 2 deve-se ao fato de que a onda é enviada e rebatida, ou seja, ela percorre 2 vezes a distância procurada.

Funciona com uma alimentação de 5V DC, opera com corrente de 2mA, tem um ângulo de efeito de 15 graus, possui um alcance entre 2 cm e 4m e a sua precisão é de 3mm.

##### 4.1.2) Módulo Buzzer

O módulo buzzer é utilizado para gerar um alerta sonoro, como um alarme, de

maneira simples. Para seu funcionamento correto é necessário apenas alimentar, de forma adequada, o VCC e o GND do módulo e controlar o áudio pela entrada I/O do próprio módulo.



Figura 5: Módulo buzzer passivo

#### 4.1.3) Módulo Relé

O relé é uma chave eletromecânica, que sob determinada tensão, fecha o contato da eletromagneticamente por meio da corrente elétrica que percorre as espiras da bobina do relé.

O módulo relé é composto pelas seguintes partes básicas:

- Eletroímã (bobina): constituído por um fio de cobre que envolve um núcleo de ferro, oferecendo um caminho de baixa relutância para o fluxo magnético;
- Armadura Fixa: atua como suporte do relé;
- Armadura móvel: desloca-se devido à atração do campo eletromagnético induzido no núcleo, sendo este movimento responsável pelos movimento dos contatos;
- Conjunto de contatos: NA e NF;
- Mola de rearme;
- Terminais: variam de acordo com a aplicação.

Considerando as características do módulo relé, ele foi escolhido para controlar o motor responsável pelo corte da grama, pois para controlar esse motor é necessário somente a regulação de tensão para ligar e desligar o motor, não sendo então necessário controlar a velocidade e nem o sentido do motor, o que faz desnecessário o uso de uma ponte H para tal, sendo esta explicada a seguir.



Figura 6: Módulo Relé

#### 4.1.4) Módulo Ponte H

A ponte H pode controlar até dois motores DC, permitindo o controle não somente do sentido de rotação do motor, como também da sua velocidade, por meio dos pinos PWM.

A ponte H possui quatro transistores responsáveis por direcionar a corrente para o acionamento do motor. Esse funcionamento elétrico é semelhante a letra “H”, por isso o nome. Porém este módulo tem uma peculiaridade, sendo esta a habilidade de aplicar ambas polaridades direcionais para o motor. A figura 7 mostra a principal economia da ponte H com base no exemplo dos interruptores: se dois interruptores diagonais estão fechados, o motor começa a funcionar; a direção da rotação do motor depende, em diagonal, que os motores se fechem. Na ponte H real os interruptores são substituídos por

transistores que são selecionados de acordo com a corrente do motor e com a tensão.

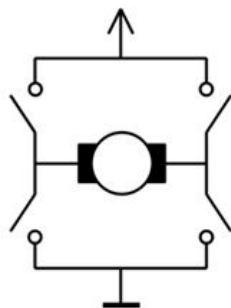


Figura 7: Preceito do Funcionamento da Ponte H

A ponte H possui as seguintes especificações:

- Tensão de operação: 4~35V
- Chip: ST L298N (Datasheet)
- Controle de 2 motores DC ou um motor de passo
- Corrente de operação máxima: 2A por canal ou 4A máximo
- Tensão lógica: 5V
- Corrente lógica: 0~36mA
- Limites de temperatura: -20~135°C
- Potência máxima: 25W
- Dimensões: 43x43x27mm
- Massa: 30g

A figura 8 mostra o módulo Ponte H e em seguida o seu respectivo funcionamento.

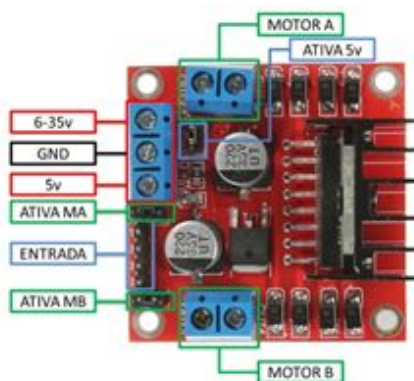


Figura 8: Módulo Ponte H

a) **(Motor A) e (Motor B)** se referem aos conectores para ligação de 2 motores DC ou 1 motor de passo.

b) **(Ativa MA) e (Ativa MB)** – são os pinos responsáveis pelo controle PWM dos motores A e B. Se estiver com jumper, não haverá controle de velocidade, pois os pinos estarão ligados aos 5v. Esses pinos podem ser utilizados em conjunto com os pinos PWM do microcontrolador.

c) **(Ativa 5v) e (5v)** – Este Driver Ponte H L298N possui um regulador de tensão integrado. Quando o driver está operando entre 6-35V, este regulador disponibiliza uma saída regulada de +5v no pino (5v) para um uso externo (com jumper), podendo alimentar por exemplo outro componente eletrônico. Portanto não alimente este pino (5v) com +5v do microcontrolador se estiver controlando um motor de 6-35v e jumper conectado, isto danificará a placa. O pino (5v) somente se tornará uma entrada caso esteja controlando um motor de 4-5,5v (sem jumper), assim poderá usar a saída +5v do microcontrolador.

d) **(6-35V) e (GND)** – Aqui será conectado a fonte de alimentação externa quando o driver estiver controlando um motor que opere entre 6-35v. Por exemplo se estiver usando um motor DC 12v, basta conectar a fonte externa de 12v neste pino e (GND).

e) **(Entrada)** – Este barramento é composto por IN1, IN2, IN3 e IN4. Sendo estes pinos responsáveis pela rotação do Motor A (IN1 e IN2) e Motor B (IN3 e IN4).

A tabela em figura abaixo mostra a ordem de ativação de um motor A por meio dos pinos IN1 e IN2. O mesmo esquema pode ser aplicado aos pinos IN3 e IN4, responsáveis por um motor B.



MOTOR	IN1	IN2
HORÁRIO	5v	GND
ANTI-HORÁRIO	GND	5v
PONTO MORTO	GND	GND
FREIO	5v	5v

Figura 9: Ativação dos motores

#### 4.1.5) Módulo sensor IR

Este módulo é um sensor óptico reflexivo e é altamente usado dentro da robótica. O módulo IR a ser usado é o TCRT5000, que possui acoplado um sensor infravermelho (emissor) e um fototransistor (receptor). Ele auxiliará na detecção de objetos. O módulo sensor IR possui também um potenciômetro que auxilia na distância de detecção de objetos, podendo variar de 8mm a 25mm.

O funcionamento do sensor é dada por meio de uma alimentação de 5V na entrada VCC e o GND com o terra, no caso o terra da MSP430; a saída é a resposta digital do sensor, sendo 1 para objeto detectado e 0 para não detectado.

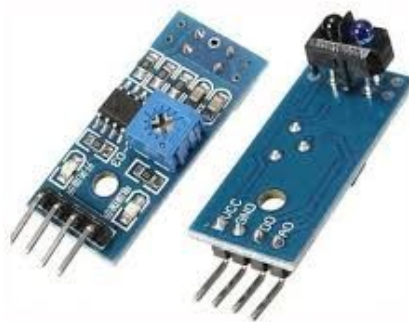


Figura 10: Módulo sensor óptico TCRT5000

#### 4.2) O Microcontrolador

O microcontrolador a ser usado no projeto é, como já dito, o MSP430G2553, que pode ser visto na Figura 1. Já foi explicitado que o MSP430 da Texas Instruments é um

microcontrolador de 16bits com uma arquitetura Von Neumann e é usado em aplicações de baixa potência.

A placa MSP será responsável por controlar todos os periféricos a ela ligados, sendo, então, estes todos os sensores supracitados. Com isso, pode-se dizer que este microcontrolador é o cérebro do projeto, responsável por todo o controle e ações que o Minigrama irá tomar.

#### 4.3) Os motores de tração

Para o controle das rodas que irão compor o robô Minigrama serão utilizados dois motores DC 12V.

Os motores DC possuem ímã permanente e têm uma construção bastante simples. Assim como o seu controle também é bastante elementar. A sua velocidade não é necessariamente determinada pelo sinal de controle, pois depende de vários fatores, principalmente do valor binário aplicado na alimentação. A relação entre binário e velocidade de um motor de corrente contínua ideal é linear, o que significa que quanto maior é a carga sobre o eixo menor é a velocidade do veio e maior é a corrente através da bobina.

Normalmente, a velocidade do motor é dependente da tensão aplicada nos terminais do motor. Se o motor alimentar uma tensão nominal, ele roda a uma velocidade nominal. Se a tensão dada ao motor é reduzida, a velocidade do motor e o binário são reduzidos também. Este tipo de controle de velocidade é também chamado de controle analógico. Isto pode ser implementado, por exemplo, usando um transistor ou um reostato (dispositivo utilizado para variar a resistência de um circuito).

Motores DC são controlados por microcontroladores, por meio da utilização de modulação de largura de impulso (PWM - pulse with modulation), por transistores de comutação rápida on - off. A potência do motor

total é algo entre parado e velocidade máxima. O tempo de todo o período de PWM quando o transistor é aberto, chamado ciclo de trabalho, que é medido em percentagem. 0% significa que o transistor está constantemente fechado e não conduz, 100% significa que o transistor está aberto e conduz. A frequência de PWM deve ser suficientemente elevada para evitar a vibração do eixo do motor. Em baixas frequências o motor produz um ruído e, portanto, é principalmente utilizada a modulação de frequência acima de 20 kHz.

O motor escolhido para fazer esse controle das rodas foi uma motor de vidro elétrico de carro da Rosch visto na figura abaixo.

#### FPG EVO



Figura 11: Motor DC 12V

A figura 12 a seguir mostra as características do motor retirado do catálogo da Bosch 2017/2018. Ela foi dividida em a e b para melhor visualização.

	Part number	P <sub>n</sub> (Nominal power)	I <sub>n</sub> (Nominal current)	n <sub>n</sub> (Nominal speed)	M <sub>n</sub> (Nominal torque)	M <sub>a</sub> (Stall torque)	Gear ratio
		W	A	rpm	Nm	Nm	
12 V	F 006 B49 702	8,6	6	82	1	10	73:1
	F 006 B49 703	8,6	6	82	1	10	73:1
	F 006 B49 680	8,6	6	82	1	10	73:1
	F 006 B49 681	8,6	6	82	1	10	73:1
	F 006 B49 682	8,6	6	82	1	10	73:1
	F 006 B49 683	8,6	6	82	1	10	73:1
	F 006 B49 780	8,6	6	82	1	10	73:1
	F 006 B49 781	8,6	6	82	1	10	73:1

a) Parte 1

Signal	Side*	Dimensional drawing (D)	Wiring diagram (W)	Drive end (S)	Connector (C)	Performance curve (P)
ripple						
Yes	R	D1	W1	S1	C1	P1
Yes	L	D2	W1	S1	C1	P1
Yes	R	D1	W2	S2	C1	P1
Yes	L	D2	W2	S2	C1	P1
Yes	R	D3	W2	S3	C1	P1
Yes	L	D4	W2	S3	C1	P1
Yes	R	D1	W2	S4	C1	P1
Yes	L	D2	W2	S4	C1	P1

b) Parte 2

Figura 12: Características elétricas do motor

As figuras 13 a 15 a seguir mostram algumas outras características do motor

#### FPG EVO

##### Wiring diagram (W)

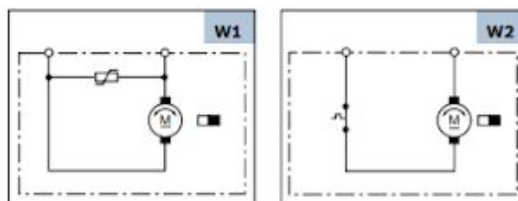


Figura 13: Conexões do Motor

##### Mating connector (C)

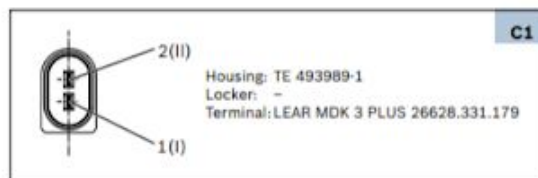


Figura 14: Conector de acoplamento

### Performance curve (P)

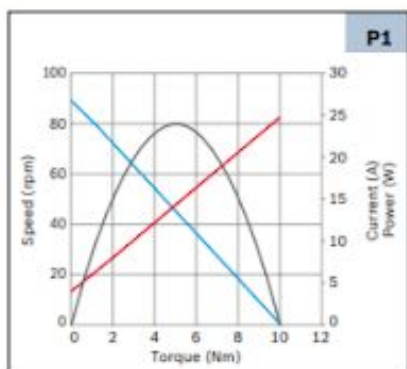


Figura 15: Curva de performance

#### 4.4) Funcionamento dos Softwares

Foi desenvolvido código para testar os sensores que serão utilizados no projeto do Minigrama. Esse código pode ser visualizado em apêndice, junto com os comentários explicando o que está sendo feito.

### 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. DAVIES, John. MSP430 MICROCONTROLLER BASICS. Elsevier Ltd. Burlington, MA, EUA; Oxford, UK.
2. BOSCH, Catálogo de Motores Elétricos 2017-2018. Disponível em: <[http://br.bosch-automotive.com/media/parts/download\\_2/motores\\_eletricos/Catlogo\\_Motores\\_Eltricos\\_2017-2018.pdf](http://br.bosch-automotive.com/media/parts/download_2/motores_eletricos/Catlogo_Motores_Eltricos_2017-2018.pdf)> . Acessado em 11 out. 2019
3. DATASHEET do SENSOR ULTRASSÔNICO. Disponível em: <<https://datasheet4u.com/datasheet-pdf/Cytron/HC-SR04/pdf.php?id=1291829>> Acessado em 10 out. 2019
4. DATASHEET do SENSOR IR. Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/252411/VISHAY/TCRT5000.html>> Acessado em 10 out. 2019

5. DATASHEET da PONTE H. Disponível em <[https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=L298n&gclid=CjwKCAjwusrBRBmEiwAGBPgE34bqFVo3os6G6NF-Ny\\_Yu6DZGpR7lwn4W9H8-BkK5pKCF-qflsWSBoCTV0QAvD\\_BwE](https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=L298n&gclid=CjwKCAjwusrBRBmEiwAGBPgE34bqFVo3os6G6NF-Ny_Yu6DZGpR7lwn4W9H8-BkK5pKCF-qflsWSBoCTV0QAvD_BwE)> Acesso em: 10 out. 2019.

### 6. REFERÊNCIAS

1. Em que altura devo cortar a grama? 2018. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/cursos-jardinagem/artigos/em-que-altura-devo-cortar-a-grama>. Acesso em: 11 set. 2019.
2. PEDRÃO, Rodrigo. GOAT (Cortador de Grama Autônomo) - Instituto Mauá de Tecnologia - Projeto TG. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=R-s7Zx80uL8> . Acesso em: 08 set. 2019.

### LINKS

#### Trello:

<https://trello.com/invite/b/IsrEyxci/ff349a757fe3ba2e29e57d4533d30657/minigrama>

#### GitHub:

<https://github.com/deborajanini/minigrama>

(Sendo organizado de acordo com o andamento do projeto)



## APÊNDICE

```
1#include <msp430g2553.h>
2
3#define BIT0 MOTORA
4#define BIT1 MOTORB
5#define MOTORES (MOTORA | MOTORB)
6#define LIGA_MOTORES (P1OUT |= MOTORES)
7#define DESLIGA_MOTORES (P1OUT &= ~MOTORES)
8#define BTN BIT3
9#define RX BIT1//
10#define TX BIT2
11#define LED BIT6
12#define trigger BITS
13#define echo BIT4
14
15int milliseconds;
16int distance;
17
18long sensor;
19
20#define BAUD_9600 0
21#define BAUD_19200 1
22#define BAUD_38400 2
23#define BAUD_56000 3
24#define BAUD_115200 4
25#define BAUD_128000 5
26#define BAUD_256000 6
27#define NUM_BAUDS 7
28
29void Send_Data(unsigned char c);
30void Send_Int(int n);
31void Send_String(char str[]);
32void Init_UART(unsigned int baud_rate_choice);
33
34int main(void)
```

```
33
34int main(void)
35{
36    volatile int i = 0;
37    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;
38
39    BCSCTL1 = CALBC1_1MHZ;
40    DCOCTL = CALDCO_1MHZ;
41    P1DIR |= LED; // P1.0 as output for LED
42    P1OUT &= ~LED;
43    P1OUT |= BTN;
44    P1REN |= BTN;
45    P1DIR &= ~BTN;
46    CCTL0 = CCIE; // CCR0 interrupt enabled
47    CCR0 = 1000; // 1ms at 1mhz
48    TACTL = TASSEL_2 + MC_1; // SMCLK, upmode
49    CCTL0 = CCIE; // CCR0 interrupt enabled
50    _BIS_SR(GIE);
51    Init_UART(BAUD_9600);
52
53    while(1)
54    {
55        P1IE &= ~0x01; // disable interrupt
56        P1DIR |= trigger; // trigger pin as output
57        P1OUT |= trigger; // generate pulse
58        __delay_cycles(10); // for 10us
59        P1OUT &= ~trigger; // stop pulse
60        P1DIR &= ~echo; // make pin P1.2 input (ECHO)
61        P1IFG = 0x00; // clear flag just in case anything happened before
62        P1IE |= echo; // enable interrupt on ECHO pin
63        P1IES &= ~echo; // rising edge on ECHO pin
64        __delay_cycles(30000); // delay for 30ms (after this time echo times out if there is no object detected)
65        distance = sensor/50; // converting ECHO lenght into cm
66        P1OUT ^= LED; //turning LED on if distance is less than 30cm and if distance isn't 0
```

```
48 TACTL = TASSEL_2 + MC_1; // SMCLK, upmode
49 CCTL0 = CCIE; // CCR0 interrupt enabled
50 _BIS_SR(GIE);
51 Init_UART(BAUD_9600);
52
53 while(1)
54 {
55     P1IE &= ~0x01; // disable interrupt
56     P1DIR |= trigger; // trigger pin as output
57     P1OUT |= trigger; // generate pulse
58     delay_cycles(10); // for 10us
59     P1OUT &= ~trigger; // stop pulse
60     P1DIR &= ~echo; // make pin P1.2 input (ECHO)
61     P1IFG = 0x00; // clear flag just in case anything happened before
62     P1IE |= echo; // enable interrupt on ECHO pin
63     P1IES &= ~echo; // rising edge on ECHO pin
64     delay_cycles(30000); // delay for 30ms (after this time echo times out if there is no object detected)
65     distance = sensor/58; // converting ECHO lenght into cm
66     P1OUT ^= LED; //turning LED on if distance is less than 30cm and if distance isn't 0
67     Send_String("Distância: ");
68     Send_Int(distance);
69     Send_String("cm\n");
70     delay_cycles(10000);
71     P1OUT ^= LED;
72     if(distance < 30)
73     {
74         DESLIGA_MOTORES;
75     }
76     else
77         LIGA_MOTORES;
78 }
79
80 }
```

```
138 UCA0CTL1 = UCSSEL_2;
139 // Define a baud rate
140 UCA0BR0 = BRs[baud_rate_choice];
141 UCA0BR1 = 0;
142 UCA0MCTL = MCTLs[baud_rate_choice];
143 }
144 }
145
146 #pragma vector=PORT1_VECTOR
147 __interrupt void Port_1(void)
148 {
149     if(P1IFG&echo) //is there interrupt pending?
150     {
151         if(!(P1IES&echo)) // is this the rising edge?
152         {
153             TACTL=TACLR; // clears timer A
154             milliseconds = 0;
155             P1IES |= echo; //falling edge
156         }
157         else
158         {
159             sensor = (long)milliseconds*1000 + (long)TAR; //calculating ECHO lenght
160         }
161         P1IFG &= ~echo; //clear flag
162     }
163 }
164 }
165 #pragma vector=TIMER0_A0_VECTOR
166 __interrupt void Timer_A (void)
167 {
168     milliseconds++;
169 }
170
171 }
```