

# UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB

## FACULDADE GAMA

ELETRÔNICA EMBARCADA 120871- TURMA A 2018.2

PONTO DE CONTROLE IV

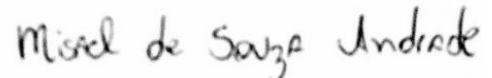
**CAPINATOR - CORTADOR DE GRAMA MICROCONTROLADO**

*Jhonathan Nicolas M. Silva,*  
*Matrícula: 16/0031621*



Programa de Engenharia Eletrônica  
Faculdade Gama - Universidade de Brasília  
Área Especial de Indústria Projeção A Brasília,  
CEP: 72.444-240  
email: [jnicolas@aluno.unb.br](mailto:jnicolas@aluno.unb.br)

*Misael de Souza Andrade*  
*Matrícula: 16/0015669*



Programa de Engenharia Eletrônica  
Faculdade Gama - Universidade de Brasília  
Área Especial de Indústria Projeção A Brasília,  
CEP: 72.444-240  
email: [misas.andrade@aluno.unb.br](mailto:misas.andrade@aluno.unb.br)

### RESUMO

Este relatório tem como objetivo apresentar a proposta do nosso projeto da disciplina de Eletrônica Embarcada, um Cortador de Grama Autônomo. Para tanto usaremos como elemento principal do produto o **MSP430** da Texas Instruments, um microcontrolador RISC de 16 bits voltados para aplicações de baixo consumo de energia. O projeto visa melhorar a qualidade de vida do usuário, promovendo-o comodidade e segurança nos cuidados de jardins, quintais, campos e etc.

### 1. JUSTIFICATIVA

Partindo da ideia principal do produto, que é garantir comodidade e consequentemente segurança para o consumidor, é importante apresentar alguns pontos presentes nos produtos similares atuais controlados por um usuário, abordando fatores que inspiram o projeto.

Um dos fatores mais importantes que justificam a escolha do projeto é a comodidade que o produto traz ao consumidor, o cortador de grama autônomo diminui quase por completo o tempo gasto pelo usuário em seu manuseio, onde sem esforço nenhum basta programá-lo que o mesmo faz todo o serviço sem a presença do usuário.

Ao comparar com os modelos não-autônomos presentes no mercado, temos que através da autonomia do cortador o usuário poupará esforço físico e tempo, sendo este relevante quanto a questões pessoais e de exposição do corpo ao sol, e aquele relevante levando em consideração o trabalho de erguer ou empurrar o peso do cortador, onde o peso médio dos produtos presentes no mercado são de 2,6 kg para aparadores[3], 8,7 kg para roçadeiras[4] e 25 kg para cortadores[5].

Outro fator importante que destaca a necessidade de automação do cortador de grama é a prevenção de acidentes. Atualmente, a necessidade de interação e manuseio do equipamento vem trazendo muitos riscos para o usuário, onde o número de acidentes com estes produtos é alto e preocupante, onde por exemplo nos Estados Unidos, as máquinas de cortar grama levam a cerca de 55 mil lesões por ano em que cerca de 75 destas pessoas morrem por decorrência dessas lesões[7]. Com o cortador de grama autônomo, o número de acidentes idealmente seria reduzido a zero, uma vez que o usuário não precisaria manter contato ou manter-se próximo do cortador durante sua operação.

Sendo assim o nosso projeto teria total capacidade de inserção neste mercado, tendo como vantagem principal a sua autonomia em operar.

## 2. OBJETIVOS

Projetar um cortador de gramas que seja capaz de:

- dado uma área limitada fechada, desviar de obstáculos cortando a grama do local;
- cortar gramas de áreas planas e levemente inclinado;
- desviar dos obstáculos de maneira autônoma;
- assegurar a saúde do operador ao manuseá-lo;
- ser energeticamente viável;
- não evadir do local limitado.

## 3. REQUISITOS DO PROJETO

O projeto proposto neste documento será descrito neste tópico, onde serão apresentados os requisitos que ele deverá atender. Se tratando de um cortador de grama é necessário estabelecer uma altura mínima que ele deverá atingir no corte, a altura da grama a ser cortada depende muito da sua variedade[1] sendo que a menor delas é de 3cm esse referencial será um dos nossos requisitos onde o equipamento deverá possibilitar a grama a ter no máximo essa altura, caso contrário ele não cumprirá esse requisito. Outro fator importante é a autonomia do equipamento o cortador deverá ser capaz de desviar de obstáculos para que possa ser capaz de cortar a grama com a mínima interferência humana possível, alguns exemplos de obstáculos que o equipamento deverá desviar são: Árvores, pedras que impeçam a navegação, paredes, entre outros. Outro requisito importante do projeto é a eficiência nesse caso existe tanto o corte da grama que deverá ser preciso quanto a velocidade que o cortador vai trabalhar, nesse caso ele deverá estar apto a percorrer no mínimo 0,35 km/h, analisando algumas propostas semelhantes de projeto[2] concluímos que essa velocidade é aceitável.

Analisando que um dos nossos objetivos é aumentar de forma eficiente a segurança na parte da jardinagem quando diz respeito a operar cortadores de

grama o projeto deverá ter alguns requisitos de segurança. Um destes muito importante é o desligamento automático do motor responsável pelo giro das lâminas quando o equipamento for levantado ou eventualmente sofrer algum tipo de capotamento, também deverá ser levado em consideração a situação quando uma pessoa tenta levantar o equipamento em funcionamento, ambas situações tem como objetivo evitar que o operador sofra algum tipo de corte devido a exposição da lâmina. Um outro caso importante é quando o cortador estiver tentando desviar de um obstáculo ele deve reduzir a velocidade do giro das lâminas isso por duas razões principais, uma delas é que uma eventual perda de precisão poderia acertar esse objeto com a lâmina quando o equipamento estiver tentando contorná-lo o que ocasionaria prejuízo tanto para o equipamento quanto para o objeto em questão com uma redução da velocidade, caso houvesse uma colisão a chance de prejuízos muito grandes seriam reduzidas, a outra razão é pelo fato de que caso o objeto se trate de um animal ou uma pessoas com uma velocidade muito alta poderia haver um estilhaço de gramas nessa direção.



Figura 1. Situações onde a lâmina do cortador deve ser desligada.

Outra medida de segurança que deverá ser feita como um dos requisitos do projeto é o acionamento de um aviso sonoro por meio de, por exemplo, um buzzer apitando em uma determinada frequência para indicar às pessoas próximas que o equipamento está em funcionamento, isso pode ser essencial visto que possivelmente os motores que

serão utilizados são bem mais silenciosos do que os que costumam ser utilizados nesse tipo de equipamento.

Em relação à eficiência energética o cortador deverá conseguir operar por 20 minutos sem carregar, o tempo de carregamento não é um requisito visto que depende da bateria a ser utilizada, mas não poderá ser maior que 60 minutos, existem muitos modelos de cortadores de grama manuais no mercado se assemelham com essas especificações em relação ao tempo de funcionamento e de carregamento[3], portanto, entendemos que não haverá grandes prejuízos em relação a isso se esses dois requisitos forem cumpridos. A tabela 1 resume os requisitos que o projeto deverá atender em seu pleno funcionamento.

| Tópico                 | Requisito                                                                             |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Segurança              | Desligamento do motor em caso de eventual capotamento ou tentativa de expor a lâmina. |
|                        | Redução da velocidade da lâmina ao contornar obstáculos.                              |
|                        | Aviso sonoro durante o funcionamento.                                                 |
| Eficiência energética  | Autonomia de no mínimo 20 minutos.                                                    |
|                        | Tempo de carregamento de no máximo 60 minutos.                                        |
| Eficiência operacional | Percorrer 0,35 km/h.                                                                  |
|                        | Desviar de obstáculo sem intervenção humana.                                          |
|                        | Não permitir que a grama fique maior que 3cm.                                         |

**Tabela 1.** Requisitos do projeto.

#### 4. BENEFÍCIOS

O principal benefício que este equipamento trará é o aumento da segurança para essa atividade.

Aproximadamente 75 pessoas morrem por ano em decorrência destas lesões nos EUA. □ Especialmente trágicos são os casos de espectadores inocentes, frequentemente crianças, lesados ou mortos por alguém “dirigindo” uma máquina de cortar grama[7]. Um cortador de grama autônomo traria um nível de segurança muito maior que os manuais, pois não dependeria do estado psicológico ou físico do operador além de não representar riscos ergonômicos devido ao longo período de o indivíduo fica operando essas máquinas. Além desses fatores existe o risco de estilhaços de grama, madeira e entre outros objetos dessa natureza que pode trazer riscos para as pessoas que estão operando essas máquinas, pode ocorrer por exemplo ataques de abelhas devido ao barulho ou impacto de algum destroço em colméias[7], esse risco seria quase totalmente reduzido com o equipamento proposto neste projeto.

Se compararmos esse projeto com roçadeiras muito utilizadas a base de gasolina, teríamos um grande ganho energético, pois o equipamento funciona com bateria, podendo ser carregada após a utilização.

Um outro benefício muito claro é que devido ao fato do equipamento dispensar um operador. O custo de serviços desse tipo de jardinagem é potencialmente reduzido dado que esse serviço pode ser relativamente caro, principalmente quando se trata de gramados de estádios como, por exemplo o gramado do estádio Nacional de Brasília onde o custo de manutenção é de aproximadamente 100 mil reais por mês[8], boa parte desse custo é devido ao corte da grama, se houvesse um cortador autônomo provavelmente o custo do corte da grama seria reduzido devido a ausência de um operador barateando a operação.

O tempo em média que uma pessoa gasta para cortar a grama da sua casa é de 20 minutos, o fato é que muitas pessoas não tem esse tempo disponível 2 a 3 vezes na semana que é um das frequências mais utilizadas para cortar a grama, por isso recorrem a outros meios como, por exemplo, calçadas de concreto o que prejudica o urbanismo local e o meio ambiente. Com o cortador autônomo proposto nesse projeto poderíamos dar a essas pessoas uma oportunidade de cuidar da grama de suas casas com

um investimento de tempo extremamente menor uma vez que ele não precisaria operar a máquina.

O nosso projeto propõe implementar um cortador de grama que aumenta a segurança da atividade de jardinagem, tenha uma eficiência energética aceitável e uma eficiência operacional também considerável. Todos esses fatores trariam benefícios para aqueles que precisam desse serviço e que não se dispõem de tempo, ou até mesmo sejam leigas no ofício. Temos convicção que se desenvolvido esse projeto poderia contribuir para a saúde e o meio ambiente de forma muito eficiente trazendo segurança e qualidade para aqueles que precisam deste serviço.

### 5.DESENVOLVIMENTO

A Fim de cumprir com os requisitos do projeto descritos no item 4 foi feito um levantamento para encontrar os melhores sensores, capazes de adquirir os dados da forma mais eficiente para as tomadas de decisão, que serão responsáveis por controlar os motores de tração para a movimentação do cortador e o motor de corte, que será responsável por cortar a grama conforme anteriormente mencionado, além disso.

Nesse sentido foram desenvolvidos os primeiros códigos utilizando a linguagem C no ambiente do Code Composer Studio(CCS) software da empresa Texas Instruments e para ver os resultados utilizamos a comunicação serial RS232 via UART possibilitando fazer os melhores ajustes.

Após o levantamento dos sensores foi necessário projetar a estrutura do cortador que irá comportar todos os componentes e irá se tornar o produto propriamente dito, para isso procuramos a maioria das soluções existentes no mercado e pessoas que se propuseram a fazer algo parecido com o projeto aqui documentado.

#### 5.1 SENSORES

Conforme as pesquisas bibliográficas feitas tivemos os seguintes resultados para a escolha dos sensores com o intuito de cumprir os requisitos conforme a tabela 2.

| Tópico                 | Requisito                                                                             |                     |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Segurança              | Desligamento do motor em caso de eventual capotamento ou tentativa de expor a lâmina. | Sensor IR           |
|                        | Redução da velocidade da lâmina ao contornar obstáculos.                              |                     |
|                        | Aviso sonoro durante o funcionamento.                                                 | Buzzer              |
| Eficiência energética  | Autonomia de no mínimo 20 minutos.                                                    | Bateria             |
|                        | Tempo de carregamento de no máximo 60 minutos.                                        | Sensor Ultrassônico |
| Eficiência operacional | Percorrer 0,35 km/h.                                                                  | Ponte H             |
|                        | Desviar de obstáculo sem intervenção humana.                                          |                     |
|                        | Não permitir que a grama fique maior que 5cm.                                         | Relé                |

Tabela 2. Sensores levantados em função dos requisitos.

##### 5.1.1 SENSOR IR

O sensor óptico reflexivo, mais conhecido como sensor IR, é muito usado em projetos com microcontroladores, como robô segue-faixa, identificação de objetos reflexivos, entre outros. No projeto, foi utilizado o Módulo Sensor Óptico TCRT5000, Figura 2.

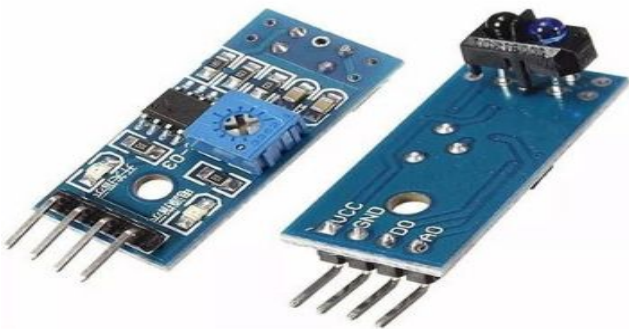


Figura 2. Módulo Sensor Óptico TCRT5000.

Este Sensor Óptico Reflexivo Fototransistor TCRT5000[11] de reflexão possui acoplado no mesmo dispositivo um sensor infravermelho (emissor) e um fototransistor (receptor). Foi especialmente projetado para bloquear outras faixas de luz que não



seja a do próprio emissor, evitando que luminosidades do ambiente venham causar alguma interferência.

Integrando-o ao projeto, podemos descrever seu funcionamento da seguinte forma: alimentamos com +5V a entrada VCC e o GND com o terra do MSP430, a saída D0 é a resposta digital do sensor, onde D0=1 para objeto detectado e D0=0 para objeto não detectado. A saída A0 do módulo é a resposta analógica do sensor, não havendo necessidade de uso desta no projeto. Há também no módulo sensor, um potenciômetro para ajuda da distância de detecção de objeto, podendo variar de 8mm a 25mm.

### 5.1.2 SENSOR ULTRASSÔNICO

Um sensor muito utilizado na área da robótica para encontrar obstáculo e mensurar de forma rápida e com um nível razoável de precisão é o sensor ultrassônico para esse projeto será utilizado o módulo HC-SR04 que possui o seguinte funcionamento. Esse módulo possui em torno de 15° de ângulo de detecção razoável para a nossa aplicação.

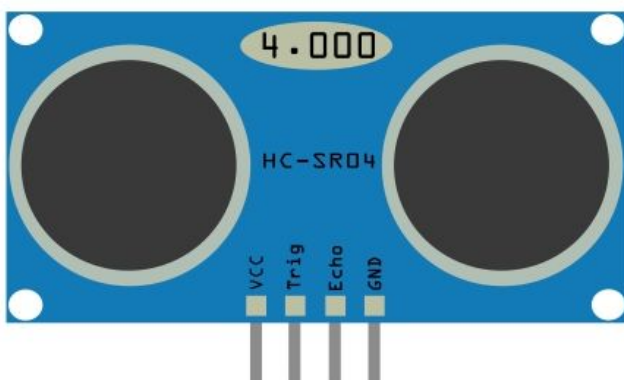


Figura 3. Simbologia do módulo HC-SR04.

Alimentamos o módulo com +5V no pino VCC e o GND ao terra do MSP, e então enviamos um pulso de duração de 10us para o pino trigger e então recebemos como resposta no pino echo um sinal de pulso onde o tempo em nível lógico alto é proporcional a distância de ida e volta que o som levou para percorrer encontrando um obstáculo.

### Diagrama de tempo HC-SR04

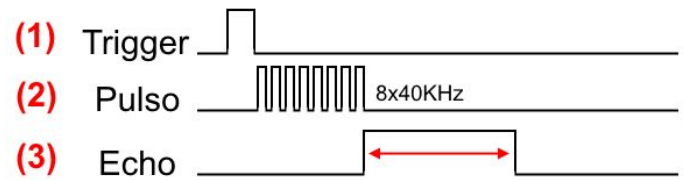


Figura 4. Diagrama de tempo HC-SR04

Conforme o datasheet do fabricante[10] a equação que define a distância em metros é:

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

Equação 1. distância do sensor ultrassônico em função do eco.

Aplicando esse sensor e suas especificações na launchpad do MSP430G2553 obtivemos sucesso conforme será visto no item 5.2

Para a implementação dos 4 sensores ultrassônicos

Observamos que seria mais adequado utilizarmos um Demux para o echo (pino do sensor ultrassônico) e assim poupamos tanto memória quanto mais importante pinos do microcontrolador.

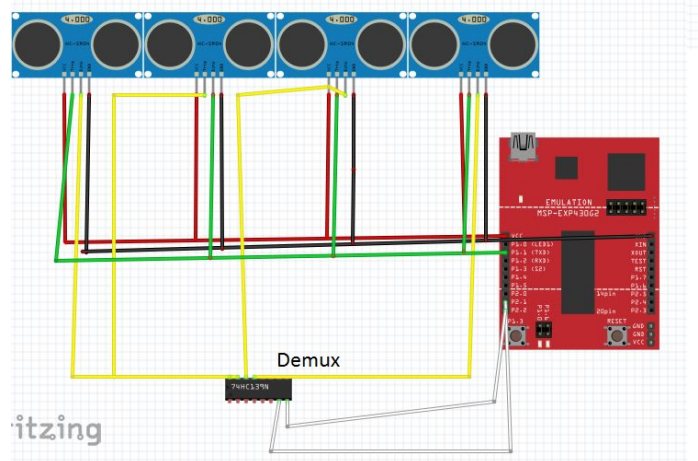


Figura 11B. Sensor ultrassônico em paralelo.

### 5.1.3 MÓDULO PONTE H

Para que pudéssemos controlar a velocidade e a direção dos motores de tração responsáveis pela movimentação do cortador, precisamos essencialmente de controlar o sentido dos motores qual motor deveria estar ligado e desligado para que pudesse ser feito o círculo responsável pela mudança

da direção do cortador, além desses fatores precisamos alimentar os motores com uma fonte externa, pois a launchpad não conseguiria fornecer nos pinos a potência necessária para esse controle.

Nesse sentido optamos por utilizar um módulo de ponte H ou motor shield, que é em suma um circuito que permite o controle de motores CC, passo e servos, mudando sua direção, velocidade e no caso dos motores de passo a precisão também, isso tudo mudando os valores lógicos da entrada da ponte H, porém a alimentação dos motores será por meio de uma fonte externa algo que o módulo que escolhemos L298N permite fazer.

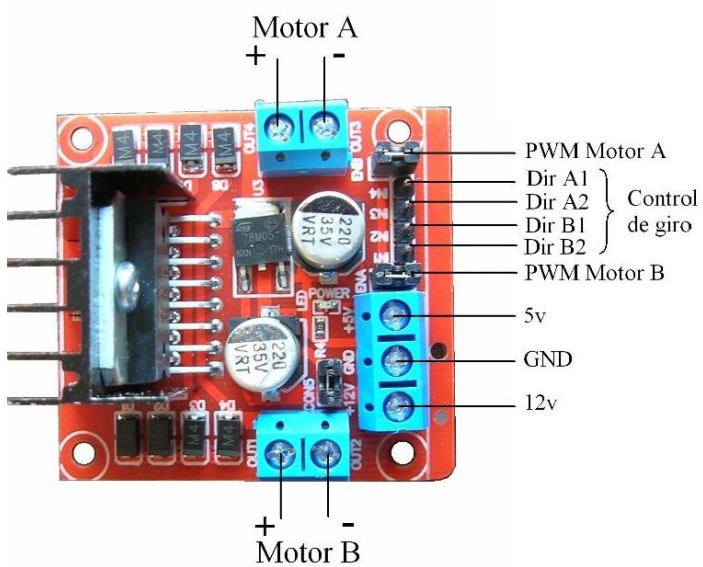


Figura 5. módulo de ponte H L298N.

Os motores são controlados conforme a seguinte tabela verdade

| Giro           | Dir A1 | Dir A2 |
|----------------|--------|--------|
| Horario        | 1      | 0      |
| Antihorario    | 0      | 1      |
| Motor detenido | 0      | 0      |

Tabela 3. Tabela verdade do controle dos motores do módulo de ponte H L298N.

Ao implementar esse módulo com o MSP430G2553 obtivemos sucesso conforme será visto no item 5.2.

### 5.1.4 MÓDULO RELÉ E BUZZER

O relé se trata de uma chave eletromecânica que algo aplicarmos uma determinada tensão ele fecha o contato de forma eletromagnética, ou seja de isoladamente com o pino que provocou essa indução, possibilitando assim que com uma tensão pequena sejamos capazes de chavear circuitos que tem uma grande potência. Optamos por esse módulo invés de uma segunda ponte H, pois precisaríamos para controlar o motor de corte apenas da regulação Ligado/Desligado, não havendo a necessidade de controlar a velocidade ou até mesmo o sentido do motor de corte, esse módulo para funcionar corretamente basta alimentá-lo e então controlar de forma binária o chaveamento pelo pino IN. Possivelmente teremos que fazer um conversor de nível lógico pois os pinos do MSP são de no máximo 3.3V e o módulo funciona com uma tensão no pino IN de 5V.

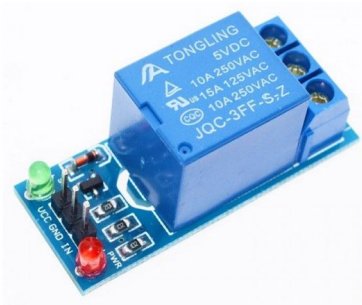


Figura 6. módulo relé.

O módulo buzzer nos permite gerar um alerta sonoro para um alarme conforme a aplicação desse projeto de forma muito simples, sem a necessidade de um sinal de áudio complexo o que dificultaria a implementação deste requisito. Para funcionar adequadamente, basta alimentar adequadamente com o VCC e o GND e controlar o áudio pela entrada I/O do módulo.



Figura 7. módulo buzzer passivo.

## 5.2 FUNCIONAMENTO DOS CÓDIGOS

Para a validação dos dados dos sensores utilizamos a comunicação serial, dessa forma foi possível verificar empiricamente se os resultados esperados no sensores estavam de acordo. Para a comunicação serial RS232 foram utilizados os pinos P1.1 e P1.2 respectivamente como RX e TX.

### 5.2.1 SENSOR IR

O código para implementação do sensor óptico reflexivo, foi feito apenas na Linguagem C, utilizado o software CCS para programação direta no MSP430. No mesmo, foram utilizadas apenas a biblioteca padrão “msp430g2553.h” do MSP430, e a biblioteca “legacymsp430.h”, necessária para comunicação UART. Podemos ver na Figura 8, a o diagrama da implementação do sensor reflexivo.

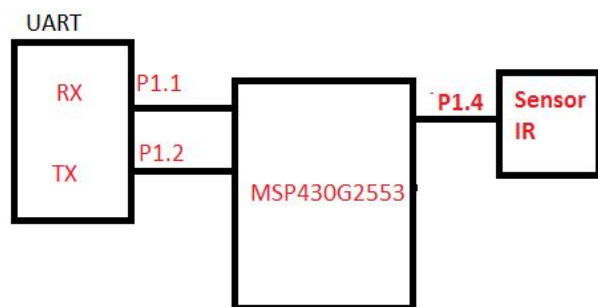


Figura 8. Implementação do Sensor Reflexivo.

O código presente pode se visto neste projeto no anexo Apêndice(A). Podemos verificar que o

funcionamento consiste em utilizar a Launchpad para enviar a todo momento uma string para o computador via UART indicando o estado do SENSOR-IR em P1.4. Envia a string "DETECTADO" se o sensor detectar o objeto e "NAO DETECTADO" se o sensor não estiver detectando o objeto. Podemos ver as respostas do sensor sendo enviadas via UART na Figura 9.



Figura 9. Saída serial do MSP com o código do sensor IR.

### 5.2.2 SENSOR ULTRASSÔNICO

O código feito para implementar o sensor ultrassônico foi feito apenas na linguagem C (vide Apêndice B) , utilizando o apenas a biblioteca msp430g2553.h padrão da Texas Instruments para o microcontrolador em questão. Foi feita a seguinte conexão para a implementação conforme a figura 10.

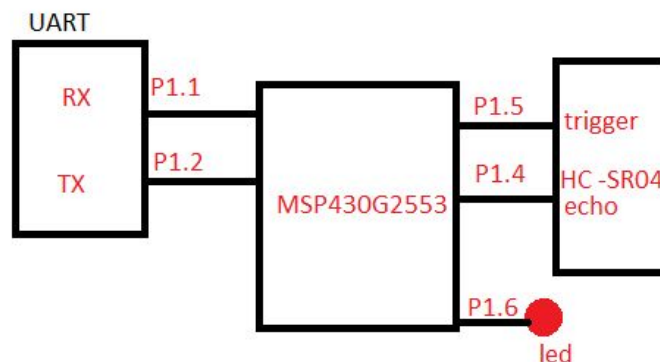
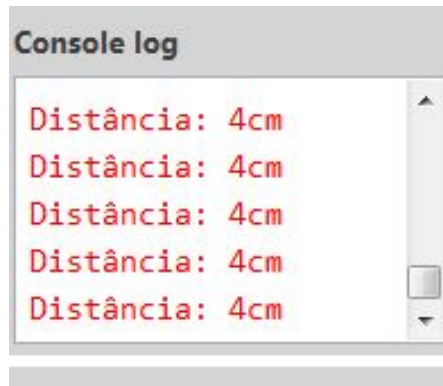


Figura 10. Implementação do SR04.

O intuito da implementação era basicamente através do módulo HC-SR04 obter a distância do sensor em relação a algum obstáculo e mostrar essa distância em cm na saída serial.



**Figura 11.** Saída serial do MSP com o código do sensor ultrassônico.

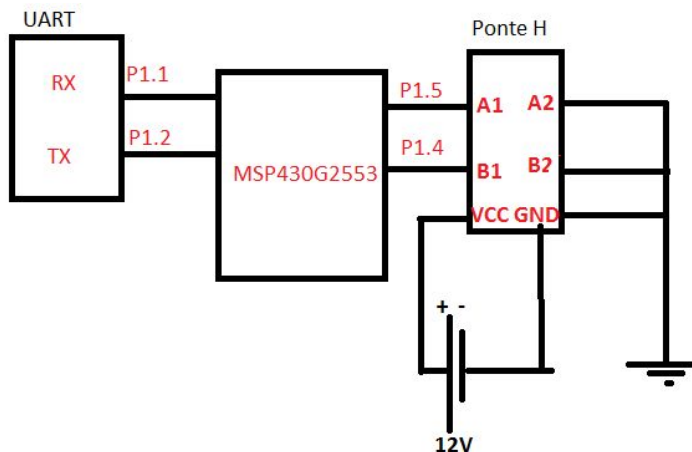
qualquer outro número = Para os dois motores .



**Figura 13.** Resultado da implementação do código da ponte H na saída serial

### 5.2.3 PONTE H

A montagem da ponte H para a implementação foi feito seguindo a figura 12.



**Figura 12.** Implementação da ponte H L298N no MSP.

O código que foi implementado no MSP (vide Apêndice C) tinha o seguinte intuito, conforme o número que digitarmos na entrada serial RS232 teríamos o seguinte resultado:

1 = Virar a direita, liga apenas o motor da esquerda.

2 = Virar para esquerda, liga apenas o motor da direita

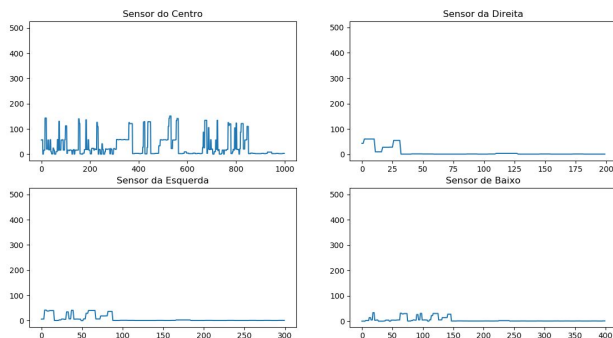
3 = Ir para frente, liga os dois motores.

### 5.2.4 FILTRAGEM DO SINAL DOS SENSORES ULTRASSÔNICO

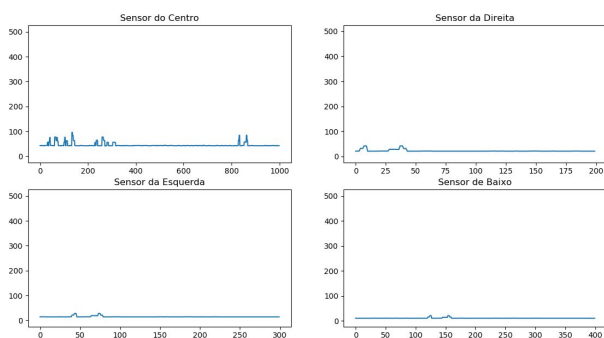
Assim que começamos a implementar os sensores ultrassônicos no projeto nos deparamos que o nível de ruído gerado por esses sensores são extremamente altos, além disso a estrutura do cortador de grama devido ao movimento dos motores de tração e ao do motor de corte faz com que a estrutura vibre de forma a tornar os dados dos sensores ultrassônicos mais ruidosos ainda,

Por essa razão percebemos a necessidade de filtrar o sinal vindo do sensores, obviamente o sensor deveria ser digital devido a natureza do dado, além disso um filtro do tipo passa baixa não seria o ideal uma vez que não estaríamos interessados em cortar algumas altas frequências, pois faria parte da lógica do robô, sendo assim optamos pelo filtro média móvel que possui um nível de complexidade na implementação muito baixo em relação aos outros filtros e os resultados empíricos dele foram aceitáveis para o nível do projeto, com o auxílio da linguagem python ligamos o MSP430 na entrada serial e plotamos em tempo real os gráficos dos 4 sensores com e sem o filtro.





**Figura 14.** 4 sensores Ultrassônicos sem o filtro.



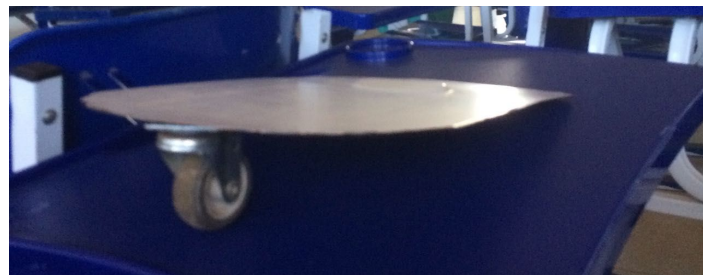
**Figura 15.** 4 sensores Ultrassônicos com filtro média móvel

Como pode ser visto a implementação do filtro média móvel foi muito eficiente em filtrar os sinais advindos dos sensores ultrassônico

### 5.3 ESTRUTURA

Tomando os requisitos iniciais do projeto, montamos a base do chassi do cortador. A estrutura do chassi possui uma plataforma metálica para suporte da estrutura, uma roda boba para direção, dois motores de tração e duas rodas acopladas aos motores de tração.

A plataforma metálica possui uma área de aproximadamente 30cm x 15cm, e a roda boba de dimensões 6cm de diâmetro. Ambas podem ser vistas acopladas na Figura 16.



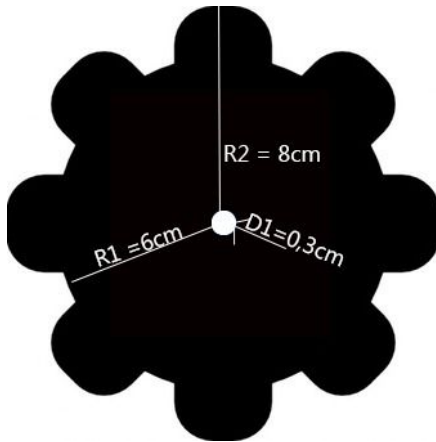
**Figura 16.** Plataforma Base + Roda Boba.

Os motores utilizados para tração foram motores de vidro elétrico de carro, modelo BOSCH 12V, vide Figura 17.



**Figura 17.** Motor Bosch Vidro Elétrico 12v.

Um dos embates na montagem da estrutura do cortador foi a escolha das rodas traseiras, pois estas deveriam ser resistentes, de diâmetros consideravelmente grandes. Todavia, as encontradas para esta aplicação eram quase que financeiramente inviáveis. Porém com muita pesquisa e criatividade, decidimos construir manualmente rodas de madeiras para atender as necessidades do projeto. As rodas deveriam seguir as especificações da Figura 18, sendo madeira o material escolhido.



**Figura 18.** Modelo e Especificações das rodas traseiras.

Após a fabricação das rodas ocorrer com sucesso, pudemos acoplá-las aos motores e posteriormente, juntando-os na plataforma base do chassi. Nesse ponto podemos chegamos na seguinte estrutura.



**Figura 19.** Estrutura atual 1.



**Figura 20.** Estrutura atual 2.



**Figura 21.** Estrutura atual 3.

Onde ela foi testada e apresenta pleno funcionamento no que diz respeito à locomoção, e a tração que os motores conseguem suportar, além disso existe um espaço para o disco de corte que será integrado ao chassi, e também possui um espaço suficiente para a instalação dos sensores e da bateria que serão integrados.

No ponto de controle 3 fizemos uma integração dos sensores com a estrutura do chassi e, então conseguimos fazer com que o cortador se locomova.

### 5.3.1 MOTOR DE CORTE

Após o sucesso da construção do chassi, da instalação das rodas de tração e dos sensores, e da implementação de tomadas de decisões autônomas, pudemos então trabalhar no Ponto de Controle 4 a instalação do motor de corte do robô. Por razões de segurança, este passo só foi dado após a finalização da estrutura do robô e do desenvolvimento da lógica de acionamento do motor.

O motor escolhido para realizar a função de cortar a grama foi o modelo Cooler FAN MF120L de 12V e  $1,200 \pm 150$  RPM. Este foi escolhido por exigir baixa corrente, comparado aos outros testados, possuir um valor de rotações por minuto que supre a necessidade de cortar a grama e, além de tudo, por ser um motor leve.

Anexado ao motor estão as lâminas de corte, feitas com a junção de duas lâminas de estilete de modelo grande. A escolha deste material deve-se principalmente devido sua leveza e capacidade excelente de cortar, onde foi testada ambas lâminas com folhas, capim e até mesmo galhos de algumas plantas.

Na Figura 22 abaixo está a foto do motor de corte com lâmina após instalação.



**Figura 22.** Capinator com motor de corte instalado.

### 5.3.2 ESPECIFICAÇÕES DA ESTRUTURA

Após obter a estrutura do Capinator praticamente por completa, podemos obter as especificações de dimensões presentes na estrutura. O chassi possui 40cm de comprimento, 26cm de largura e 11cm de altura sendo que a grama pode ser cortada em uma altura máxima de 3cm. Além disso as rodas com o formato de engrenagem auxiliam no desvio de obstáculos e ajudam a gerar o atrito necessário para a locomoção, estas possuem diâmetros externos de 16cm e diâmetros internos de 13cm.



**Figura 23.** Testes com a estrutura do Capinator instalada.

Os sensores de detecção de obstáculo estão localizados no centro do chassi, na esquerda, direita (igualmente espaçados entre 6cm) e embaixo da estrutura cada qual com sua funcionalidade. Os componentes eletrônicos estão localizados sobre o chassi no qual ainda será coberto e devidamente isolado.

Além disso para cumprir com os requisitos de segurança do produto uma estrutura plástica contorna todo o chassi para que se houver lançamento de algum detrito ao cortar a grama ou se colidir em algum objeto não chegue a sair da estrutura do Capinator.





**Figura 24.** Testes com a estrutura do Capinator instalada.

O motor de corte está localizado à 13cm da extremidade traseira do Capinator, e está no centro s em relação às laterais. As lâminas de corte atuam em uma área circular de cerca de 16cm de diâmetro. Podemos observar a parte de baixo do robô na Figura 25 à seguir.



**Figura 25.** Estrutura de corte e proteção do Capinator.

### 5.3.3 FINALIZAÇÃO DA ESTRUTURA

Após os avanços na parte estrutural do Capinator, pudemos então aperfeiçoá-lo de forma funcional e estética.

Através da Figura 24 podemos ver que de por condições iniciais os componentes, fios, baterias e o MSP430 estavam soltos e expostos, o que é esteticamente feio e funcionalmente perigoso. Então a partir daí, fixamos os componentes no chassi do Capinator, diminuimos a quantidade e tamanhos dos fios, fixando-os em uma pequena protoboard.

Para cobrir os componentes, baterias e fios, construímos uma proteção de plástico revestido de EVA, de forma em que esta proteção fosse fixa com possibilidade de abertura para visualização e manutenção do interior. Podemos ver esta proteção fixada com possibilidade de fechamento e abertura da parte de cima do módulo na Figura 26.





**Figura 26.** Capinator com módulo de proteção aberto.

Com o encapsulamento dos componentes, notamos que o módulo da ponte H continha um dissipador de calor que esquentava muito, e que com o encapsulamento dos componentes, dentro poderia esquentar muito e danificar os componentes, comprometendo o projeto. A partir daí, juntamos ao módulo ponte H um cooler para resfriar o dissipador e ao mesmo tempo fazer circular o ar quente para fora do módulo de proteção. Podemos ver na Figura 27, na parte lateral está o cooler que faz o tratamento de resfrição do módulo.



**Figura 27.** Cooler de resfriamento do módulo na lateral.

Complementando a estrutura, ainda inserimos dois recursos extremamente funcionais no Capinator, uma chave fim de curso para impacto na frente do

robô e um teclado funcional acima do módulo de proteção do Capinator.. A chave de fim de curso é para que em caso de impacto por motivos de ruído nos sensores ultrassônicos, o robô possa dar ré e tomar outro rumo. Já o teclado é para o controle de velocidade do Capinator. Podemos visualizar a chave fim de curso e o teclado instalados no robô na Figura 28.



**Figura 28.** Capinator com chave fim de curso e teclado funcional..

Por fim, obtivemos o Capinator funcional e esteticamente bonito, com estrutura totalmente pronta. A Figura 29 apresenta o nosso produto final, Capinator - Cortador de Grama Autônomo.



**Figura 29.** Capinator, produto final.

## 6 . DIMENSIONAMENTO ENERGÉTICO

Para a construção do nosso projeto embarcado é essencial que a fonte de energia que irá alimentar todo o robô seja capaz de fornecer a potência necessária para que os motores de tração e de corte sejam capazes de realizar o trabalho almejado.

A tabela 3 mostra a corrente e a tensão que os motores irão precisar.

| Motor                            | Corrente | Tensão                |
|----------------------------------|----------|-----------------------|
| Motor de tração da roda direita  | 1A       | 12V                   |
| Motor de tração da roda esquerda | 1A       | 12V                   |
| Motor de corte                   | 800mA    | 12V                   |
| Total                            | 2.8A     | 12V(igual para todos) |

Tabela 3. Dimensionamento energético dos motores.

Com a corrente total necessária para suprir os motores conseguimos adquirir uma bateria adequada ao projeto com uma corrente de máxima de 3A é uma tensão fornecida de 12V com uma capacidade de armazenamento de 4400mA/h que dará aos motores uma autonomia de aproximadamente 1 hora e 30 minutos cumprindo com o requisito estabelecido.



Figura 30. Bateria do projeto.

Caso resolvêssemos usar essa mesma bateria para alimentar a LaunchPad e obviamente os sensores estaríamos no limite da corrente máxima que a bateria consegue fornecer ou até acima dele, além disso seria necessário um circuito divisor de tensão que

transformasse a tensão de 12V para 5V o que aumentaria o custo e a complexidade do projeto, por pilhas AA conseguirem fornecer a potência necessária para alimentar a LaunchPad optamos por utilizar-las, pois o custo é relativamente baixo e não é necessário nenhum outro circuito para adequar a potência das pilhas na placa de prototipagem. Tanto às pilhas quanto a bateria foram testadas e se mostra eficiente para fornecer a potência requerida.

### 7 . LÓGICA PARA A MOVIMENTAÇÃO

Foi feito o refinamento diversas vezes para a lógica do software que vai ser responsável pelas tomadas de decisões, de forma sintetizada o Capinator vai sempre se movimentar para a frente lendo o sensor central já com os filtros de média móvel ponderada atuando e, então caso o sensor central informe uma distância menor que 30cm será lido os sensores laterais e se a distância deles forem menor que 30cm então ele irá virar para um dos lados que tiver a menor distância se caso nenhuma distâncias forem maior que 30cm ele irá virar para trás(fazer a ré) e então vai ler o sensor central e os laterais até que uma das distâncias esteja favorável.

Para a lógica da detecção das chaves de fim de curso e do sensor embaixo. No caso do primeiro se a chave for a pressionada o Capinator deverá fazer a ré e então buscar as distâncias laterais caso não encontre ele faz a ré novamente até encontrar uma distância adequada para virar e seguir em frente, já o sensor embaixo do chassi aciona uma função que para os motores até que a distância seja novamente menor ou igual a 15cm

Para a lógica do teclado ela se assemelha com a lógica das chaves que se o botão for pressionado ele chamará uma função que irá mudar as velocidades dos motores de tração. A Figura 31 ilustra o diagrama lógico utilizado para a movimentação e as tomadas de decisões do motor.



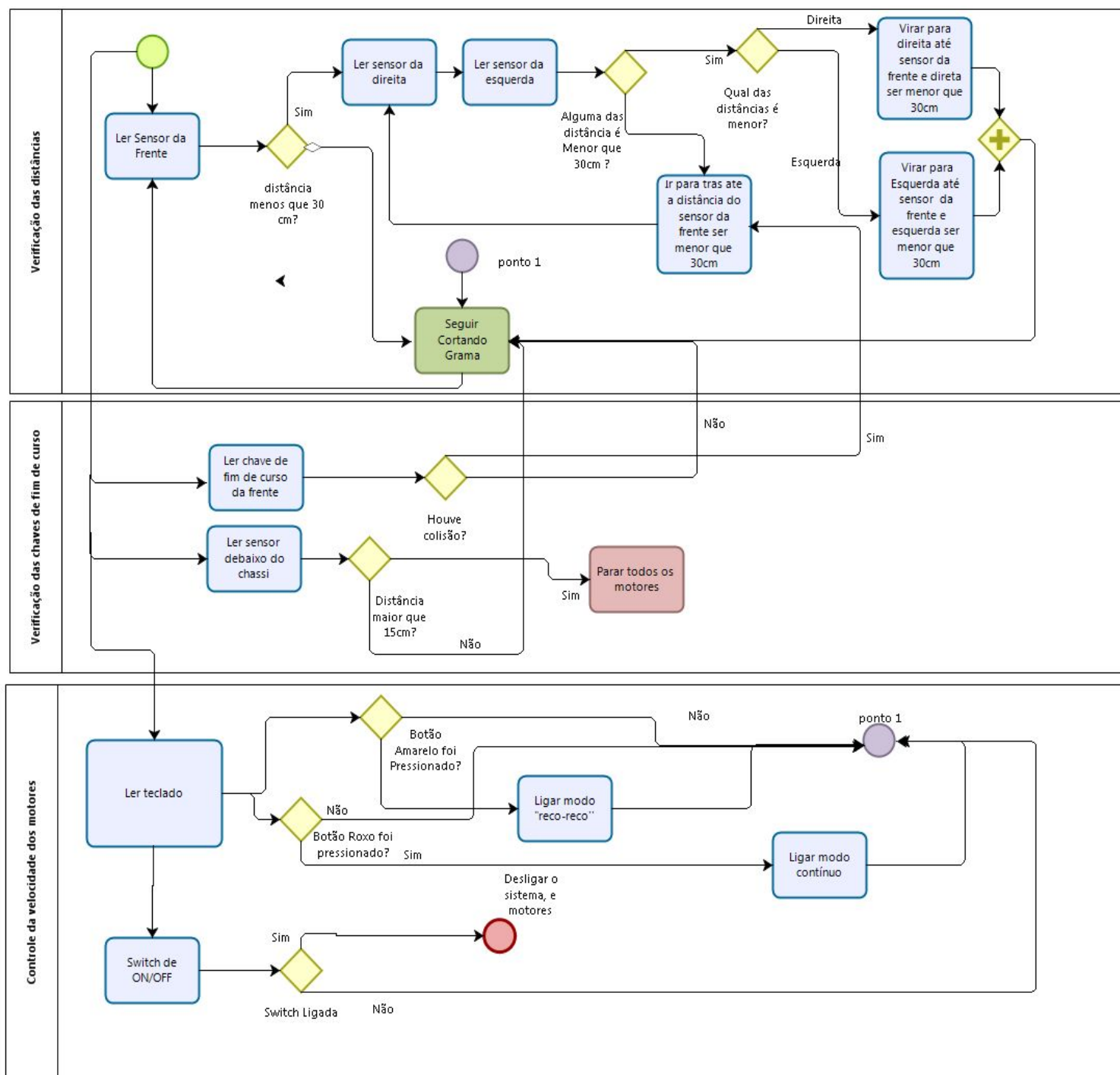


Figura 31. Fluxograma Básico de implementação.

## 7. CONCLUSÕES

Após a implementação do projeto de produto nomeado de Capinator obtivemos algumas conclusões sobre o uso de microcontroladores para a eletrônica

embarcada e para sistemas dedicados, no caso específico do MSP430G2553, concluímos que as funções do Capinator foram demasiada para o microcontrolador em questão seria mais adequado utilizar dois desses microcontroladores, pois nesse projeto utilizamos todas as portas I/O e ainda assim algumas teclas do teclado de velocidade não foram

funcionais pois não havia mais pinos para conectá las, logo perdemos funcionalidade. Além disso existiam funções que seriam mais adequadas se operassem em paralelo e não sequencialmente como foi o caso dos switches, chaves de fim de curso e a leitura dos sensores(que precisaram ser multiplexados devido a falta de pinos) e as interrupções não puderam ser mais implementadas devido ao fato que muitas interrupções estavam causando problemas de timer comprometendo a qualidade das medições. Embora tivemos esses empecilhos notamos que o uso de um microcontrolador reduziu muito o custo do projeto em relação caso usássemos uma FPGA ou um sistema embarcado com sistema operacional como uma Raspberry PI, por exemplo, ou seja, apesar das limitações utilizar dois microcontroladores seria uma escolha mais sucinta em termos de projeto do que um sistema dedicado mais caro.

Observamos também que a pesquisa intensa de duração de aproximadamente 2 meses foi essencial para o sucesso do projeto em termos de orçamento e técnicos, pois foi feito um levantamento sobre as soluções existentes as possibilidades de implementação e as melhores escolhas para o Capinator especificamente.

A respeito do uso dos sensores Ultrassônicos HC-SR04 não recomendamos seu uso para este projeto, por duas razões principais, a primeira é o fato do nível de ruído ser altamente presente nesses sensores que até com o filtro média móvel tivemos este empecilho além disso o seu custo computacional vimos que ter que enviar um pulso de 10us esperar uma borda de subida e depois acionar um contador para então detectar a borda de descida e converter as medidas do sensor para a distância não justifica o preço baixo desses sensores, recomendamos sensores de distância que utilizam comunicação I2C que possuem uma precisão muito maior e com menos ruídos.

Por fim podemos concluir que o projeto Capinator: Cortador de Grama Microcontrolado foi um sucesso e sua implementação apesar das dificuldades foi bem sucedida e altamente funcional e nos mostrou um pouco do universo dos sistemas embarcados especificamente microcontroladores.

## 8. REFERÊNCIAS

1. SILVANA, Teixeira. **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: 05 set. 2018.
2. PEDRÃO, Rodrigo. **GOAT (Cortador de Grama Autônomo) - Instituto Mauá de Tecnologia - Projeto TG.** 2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=R-s7Zx80uL8>>. Acesso em: 05 set. 2018.
3. FERRAMENTAS, Palácio das. **Cortador De Grama Costal Bateria 20v Wg169e Bivolt Worx:** Mercado Livre. 2018. Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-979366175-cortador-de-grama-costal-bateria-20v-wg169e-bivolt-worx-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-979366175-cortador-de-grama-costal-bateria-20v-wg169e-bivolt-worx-_JM)>. Acesso em: 05 set. 2018.
4. AGROTAMA. **Roçadeira Lateral a Gasolina 72cc - RN72L - Nagano.** 2018. Disponível em: <<https://www.agrotama.com.br/produtos/rocadeira-lateral-a-gasolina-72cc-rn72l/nagano-101021597,35,126/>>. Acesso em: 05 set. 2018.
5. MERLIN, Leroy. **Cortador de Grama Gasolina MC-80G 3,75Hp Trapp.** 2018. Disponível em: <[https://www.leroymerlin.com.br/cortador-de-grama-gasolina-mc-80g-3,75hp-trapp\\_85069404](https://www.leroymerlin.com.br/cortador-de-grama-gasolina-mc-80g-3,75hp-trapp_85069404)>. Acesso em: 05 set. 2018.
6. SUCURSAL, Edson Gil Junior da. **Ataque de abelhas fere sete pessoas e mata cachorro.** 2008. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/ataque-de-abelhas-fere-sete-pessoas-e-mata-cachorro-b8aemkuqzd07f380164k9f2ha/>>. Acesso em: 05 set. 2018.
7. SANHUDO, Jose Antonio Veiga. **O QUE VOCÊ DEVE SABER ANTES DE CORTAR GRAMA.** Disponível em: <<http://www.clinicadope.net/index.php/dicas/21-se-voce-esta-pensando-em-cortar-grama-deveria-ler-isto>>. Acesso em: 05 set. 2018.



8. LIMA, Marcos Paulo. **Gramado do Mané Garrincha é um dos mais caros do país, mas sofre com reclamações.** Disponível em:

<[https://www.df.superesportes.com.br/app/19,89/2015/06/08/noticia\\_futebol\\_nacional,60342/gramado-do-mane-garrincha-e-um-dos-mais-caros-do-pais-mas-sofre-com-reclamacoes.shtml](https://www.df.superesportes.com.br/app/19,89/2015/06/08/noticia_futebol_nacional,60342/gramado-do-mane-garrincha-e-um-dos-mais-caros-do-pais-mas-sofre-com-reclamacoes.shtml)>. Acesso em: 05 set. 2018.

9. JORNAL CRUZEIRO DO SUL. **Saiba qual o intervalo ideal para o corte e manutenção do gramado.** Disponível em:

<<http://www2.jornalcruzeiro.com.br/materia/776467/saiba-qual-o-intervalo-ideal-para-o-corte-e-manutencao-o-do-gramado>>. Acesso em: 05 set. 2018.

10. ELEFREAKS. **Ltrasonic Ranging Module HC - SR04.** Disponível em:

<<https://www.mouser.com/ds/2/813/HCSR04-1022824.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2018.

11. SILICONIX, Vishay. **TCRT5000 Datasheet(PDF):** Vishay Siliconix. 2000. Disponível em:

<<http://html.alldatasheet.com/html-pdf/26406/VISHAY/TCRT5000/182/1/TCRT5000.html>>. Acesso em: 05 out. 2018.

## 8. APÊNDICE

### A. CÓDIGO PARA A DETECÇÃO DE OBSTÁCULO USANDO O SENSOR COM A COMUNICAÇÃO SERIAL

```
1 // Utiliza a Launchpad para enviar a todo momento
2 // uma string para o computador via UART indicando o estado
3 // do SENSOR-IR em P1.4. Envia a string "DETECTADO" se o sensor
4 // detectar o objeto e "NAO DETECTADO" se o sensor não estiver
5 // detectando o objeto.
6 //
7
8 #include <msp430g2553.h>
9 #include <legacymsp430.h>
10
11 // Definição de entrada do SENSOR e
12 // demais definições para a comunicação UART
13 #define SENSOR BIT4
14 #define RX BIT1
15 #define TX BIT2
16
17 #define BAUD_9600 0
18 #define BAUD_19200 1
19 #define BAUD_38400 2
20 #define BAUD_56000 3
21 #define BAUD_115200 4
22 #define BAUD_128000 5
23 #define BAUD_256000 6
24 #define NUM_BAUDS 7
```

```
void Send_Data(unsigned char c);
void Send_String(char str[]);
void Init_UART(unsigned int baud_rate_choice);

int main(void)
{
    volatile int i = 0;
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD; // Para WatchDogTimer

    // Escolha da frequência para 1MHz
    BCCTL1 = CALBC1_1MHZ;
    DCOCTL = CALDCO_1MHZ;

    P1OUT = SENSOR; //Define resistor do BIT5 como PullUp
    P1REN |= SENSOR; //Define que usará resistor no BIT4
    P1DIR &= ~SENSOR; //Define SENSOR como entrada

    Init_UART(BAUD_9600);
    _BIS_SR(GIE);
    //Detecção de obstáculo e resposta pelo sensor
```

```

47     while(1)
48     {
49
50         if ((P1IN & SENSOR)==0)
51             //Se SENSOR detectar obstáculo (SENSOR = 0)
52             //envia string "DETECTADO"
53             Send_String("\nDETECTADO\n");
54         else
55             //Se não detectar (SENSOR = 1) envia string "NAO DETECTADO"
56             Send_String("\nNAO DETECTADO\n");
57
58     }
59     return 0;
60 }
61
62 //Função de envio de dados (utilizada em Send_String)
63 void Send_Data(unsigned char c)
64 {
65     while((IFG2&UCA0TXIFG)==0);
66     UCA0TXBUF = c;
67 }
68

```

```

69 // Função para enviar string
70 void Send_String(char str[])
71 {
72     int i;
73     for(i=0; str[i]!='\0'; i++)
74         Send_Data(str[i]);
75 }
76
77 //COMUNICAÇÃO UART
78 void Init_UART(unsigned int baud_rate_choice)
79 {
80     unsigned char BRs[NUM_BAUDS] = {104, 52, 26, 17, 8, 7, 3};
81     unsigned char MCTLs[NUM_BAUDS] = {UCBRF_0+UCBRS_1,
82                                         UCBRF_0+UCBRS_0,
83                                         UCBRF_0+UCBRS_7,
84                                         UCBRF_0+UCBRS_6,
85                                         UCBRF_0+UCBRS_7,
86                                         UCBRF_0+UCBRS_7};
87
88     if(baud_rate_choice<NUM_BAUDS)
89     {
90         // Habilita os pinos para transmissao serial UART
91         P1SEL2 = P1SEL = RX+TX;
92         // Configura a transmissao serial UART com 8 bits de dados,
93         // sem paridade, começando pelo bit menos significativo,
94         // e com um bit de STOP
95         UCA0CTL0 = 0;
96         // Escolhe o SMCLK como clock para a UART
97         UCA0CTL1 = UCSSEL_2;

```

```

97         UCA0CTL1 = UCSSEL_2;
98         // Define a baud rate
99         UCA0BR0 = BRs[baud_rate_choice];
100         UCA0BR1 = 0;
101         UCA0MCTL = MCTLs[baud_rate_choice];
102         // Habilita a interrupcao por chegada de dados via UART
103         IE2 |= UCA0RXIE;
104     }
105 }

```

```

Welcome Guide | teste.py | blinkc | Telemetry C
/*Código para a detecção da distância utilizando o sensor ultrassônico
Utilizando a comunicação serial para informar a distância o trigger
do sensor está ligado no pino p1.5 e o eco no p1.4. Utilizando os
pinos p1.1 e p1.2 para respectivamente o RX e TX da comunicação Init_UART
utilizamos também um led no pino P1.6 para indicar o funcionamento do código

*/
#include <msp430g2553.h>

#define RX BIT1
#define TX BIT2
#define LED BIT6
#define trigger BIT5
#define echo BIT4
int milliseconds;
int distance;
long sensor;
#define BAUD_9600 0
#define BAUD_19200 1
#define BAUD_38400 2
#define BAUD_56000 3
#define BAUD_115200 4
#define BAUD_128000 5
#define BAUD_256000 6
#define NUM_BAUDS 7

void Send_Data(unsigned char c);
void Send_Int(int n);
void Send_String(char str[]);
void Init_UART(unsigned int baud_rate_choice);

```

```

int main(void)
{
    volatile int i = 0;
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;

    BCSCTL1 = CALBC1_1MHZ;
    DCOCTL = CALDCO_1MHZ;
    P1DIR |= LED; // P1.0 as output for LED
    P1OUT &= ~LED;
    P1OUT |= BTN;
    P1REN |= BTN;
    P1DIR &= ~BTN;
    CCTL0 = CCIE; // CCR0 interrupt enabled
    CCR0 = 1000; // 1ms at 1mhz
    TACTL = TASSEL_2 + MC_1; // SMCLK, upmode
    CCTL0 = CCIE; // CCR0 interrupt enabled
    _BIS_SR(GIE);
    Init_UART(BAUD_9600);

    while(1)
    {
        P1IE &= ~0x01; // disable interrupt
        P1DIR |= trigger; // trigger pin as output
        P1OUT |= trigger; // generate pulse
        __delay_cycles(10); // for 10us
        P1OUT &= ~trigger; // stop pulse
        P1DIR &= ~echo; // make pin P1.2 input (ECHO)
        P1IFG = 0x00; // clear flag just in case anything happened before
        P1IE |= echo; // enable interrupt on ECHO pin
        P1IES &= ~echo; // rising edge on ECHO pin
    }
}

```

## B.CÓDIGO PARA A DETECÇÃO DA DISTÂNCIA UTILIZANDO O SENSOR ULTRASSÔNICO E COMUNICAÇÃO SERIAL

```

74 void Send_Data(unsigned char c)
75 {
76     while((IFG2&UCA0TXIFG)==0);
77     UCA0TXBUF = c;
78 }
79
80 void Send_Int(int n)
81 {
82     int casa, dig;
83     if(n==0)
84     {
85         Send_Data('0');
86         return;
87     }
88     if(n<0)
89     {
90         Send_Data('-');
91         n = -n;
92     }
93     for(casa = 1; casa<=n; casa *= 10);
94     casa /= 10;
95     while(casa>0)
96     {
97         dig = (n/casa);
98         Send_Data(dig+'0');
99         n -= dig*casa;
100        casa /= 10;
101    }
102 }
103

```

```

104 void Send_String(char str[])
105 {
106     int i;
107     for(i=0; str[i]!='\0'; i++)
108         Send_Data(str[i]);
109 }
110
111 void Init_UART(unsigned int baud_rate_choice)
112 {
113     unsigned char BRs[NUM_BAUDS] = {104, 52, 26, 17, 8, 7, 3};
114     unsigned char MCTLs[NUM_BAUDS] = {UCBRF_0+UCBRS_1,
115                                         UCBRF_0+UCBRS_0,
116                                         UCBRF_0+UCBRS_0,
117                                         UCBRF_0+UCBRS_7,
118                                         UCBRF_0+UCBRS_6,
119                                         UCBRF_0+UCBRS_7,
120                                         UCBRF_0+UCBRS_7};
121     if(baud_rate_choice<NUM_BAUDS)
122     {
123         // Habilita os pinos para transmissao serial UART
124         P1SEL2 = P1SEL = RX+TX;
125         // Configura a transmissao serial UART com 8 bits de dados,
126         // sem paridade, comecando pelo bit menos significativo,
127         // e com um bit de STOP
128         UCA0CTL0 = 0;
129         // Escolhe o SMCLK como clock para a UART
130         UCA0CTL1 = UCSSEL_2;
131         // Define a baud rate
132         UCA0BR0 = BRs[baud_rate_choice];
133         UCA0BR1 = 0;
134         UCA0MCTL = MCTLs[baud_rate_choice];
135     }
136 }

```

## C. CÓDIGO PARA O CONTROLE DA PONTE H E COMUNICAÇÃO SERIAL

```

/*
Código que realiza o controle da ponte H de dois motores CC para o controle
da direção. Para o controle par air para a direita ou esquerda para uma roda
e liga a outra e para ir para frente liga as duas rodas, além disso usa-se
a comunicação serial para a direção atual do cortador.

*/
#include <msp430g2553.h>
#include <legacymsp430.h>

#define RX BIT1 // Bit para comunicação serial RX
#define TX BIT2 // Bit para comunicação serial TX
#define P1MOTORA BIT5 //Pino para o motor A
#define P1MOTORB BIT4 //Pino para o motor B

//Definições para comunicação uart
#define BAUD_9600 0
#define BAUD_19200 1
#define BAUD_38400 2
#define BAUD_56000 3
#define BAUD_115200 4
#define BAUD_128000 5
#define BAUD_256000 6
#define NUM_BAUDS 7

```

```

28 //Cabeçario para as funções-----
29 void Send_Data(unsigned char c);
30 void Send_Int(int n);
31 void Send_String(char str[]);
32 void Init_UART(unsigned int baud_rate_choice);
33 //-----
34
35 volatile char direcao = 'P'; //Variável global
36
37 int main(void)
38 {
39     volatile int i = 0; // Count
40
41     WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD; // Desliga o WDT
42
43     //Definições para o timer A
44     BCSCCTL1 = CALBC1_1MHZ;
45     DCOCTL = CALDCO_1MHZ;
46     //-----
47
48     //Inicializando os pinos dos motores1
49     P1OUT &= ~P1MOTORA;
50     P1OUT &= ~P1MOTORB;
51     P1DIR |= P1MOTORA;
52     P1DIR |= P1MOTORB;
53     //-----

```

```

55 //Habilita interrupções-----
56 Init_UART(BAUD_9600);
57 _BIS_SR(GIE);
58 //-----
59
60 while(1)
61 {
62     // Trecho para imprimir a string na serial conforme o valor de direcao---
63     switch(direcao)
64     {
65         case 'P':
66             Send_String("Direção Atual: Parado\n");
67             break;
68         case 'D':
69             Send_String("Direção Atual: Direita\n");
70             break;
71         case 'E':
72             Send_String("Direção Atual: Esquerda\n");
73             break;
74         case 'F':
75             Send_String("Direção Atual: Frente\n");
76             break;
77         default:
78             Send_String("Direção Atual: Parado\n");
79             //-----
80             __delay_cycles(10000); //Aplica um delay para o envio na serial
81         }
82     }
83     return 0;
84 }

```

```

85 //Função para a comunicação serial
86 void Send_Data(unsigned char c)
87 {
88     while((IFG2&UCA0TXIFG)==0);
89     UCA0TXBUF = c;
90 }
91 //-----
92
93
94 //Função para enviar a string-----
95 void Send_String(char str[])
96 {
97     int i;
98     for(i=0; str[i]!='\0'; i++)
99         Send_Data(str[i]);
100 }
101 //-----

```

```

103 //Função para utilizar a UART-----
104 void Init_UART(unsigned int baud_rate_choice)
105 {
106     unsigned char BRs[NUM_BAUDS] = {104, 52, 26, 17, 8, 7, 3};
107     unsigned char MCTLs[NUM_BAUDS] = {UCBRF_0+UCBRS_1,
108                                         UCBRF_0+UCBRS_0,
109                                         UCBRF_0+UCBRS_0,
110                                         UCBRF_0+UCBRS_7,
111                                         UCBRF_0+UCBRS_6,
112                                         UCBRF_0+UCBRS_7,
113                                         UCBRF_0+UCBRS_7};
114
115     if(baud_rate_choice<NUM_BAUDS)
116     {
117         // Habilita os pinos para transmissao serial UART
118         P1SEL2 = P1SEL = RX+TX;
119         // Configura a transmissao serial UART com 8 bits de dados
120         // sem paridade, começando pelo bit menos significativo,
121         // e com um bit de STOP
122         UCA0CTL0 = 0;
123         // Escolhe o SMCLK como clock para a UART
124         UCA0CTL1 = UCSSEL_2;
125         // Define a baud rate
126         UCA0BR0 = BRs[baud_rate_choice];
127         UCA0BR1 = 0;
128         UCA0MCTL = MCTLs[baud_rate_choice];
129         // Habilita a interrupcao por chegada de dados via UART
130         IE2 |= UCA0RXIE;
131     }
132 }

```



```

136 interrupt(USCIAB0RX_VECTOR) Receive_Data(void)
137 {
138     unsigned char blink = UCA0RXBUF - '0';
139     //Lógica para ligar e desligar os motores
140     if(blink<10)
141     {
142         if(blink == 0)
143         {
144             P1OUT &= ~P1MOTORA;
145             P1OUT &= ~P1MOTORB;
146             direcao = 'P';
147
148         }
149         else if(blink == 1)
150         {
151             P1OUT |= P1MOTORA;
152             P1OUT &= ~P1MOTORB;
153             direcao = 'E';
154
155         }
156         else if(blink == 2)
157         {
158             P1OUT |= P1MOTORB;
159             P1OUT &= ~P1MOTORA;
160             direcao = 'D';
161
162         }
163     }

```

```

164         else if(blink == 4)
165         {
166             P1OUT |= P1MOTORB;
167             P1OUT |= P1MOTORA;
168             direcao = 'F';
169
170         }
171         else
172         {
173             P1OUT |= P1MOTORB;
174             P1OUT |= P1MOTORA;
175             direcao = 'F';
176
177         }
178     }
179 }
180 }

```