



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Projeto Seguidor de Linha

Equipe:

433901 - Aury Guimarães

433907 - Matheus Marcondes

433903 - Daiane Corrêa

378772 - Luis Eduardo Pompeu de Sousa Brasil Háteras

428586 - João Vítor Bazzan de Freitas

Professor:

Paulo Praça

Disciplina:

Eletrônica Digital

Fortaleza-CE

Junho/2019

Sumário

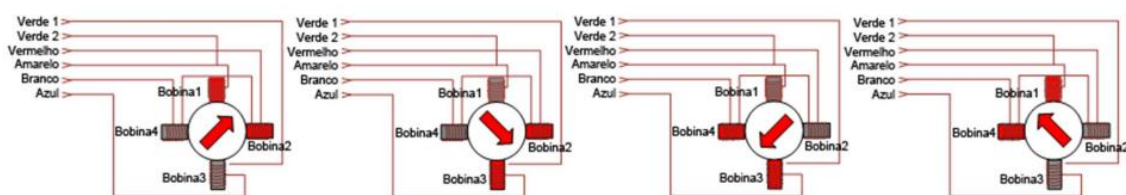
Introdução.....	3
Lógica do Circuito.....	4
Clock.....	4
Simulação.....	10
Custos	11
Montagem e Teste	11
Conclusão.....	13
Referências.....	13

Introdução

Como projeto final da disciplina de Eletrônica Digital, foi desenvolvido e implementado um carro seguidor de linha, o qual irá ajustar sua trajetória de acordo com as respostas dos três sensores dianteiros utilizados. Assim, para compreensão do trabalho é necessário a compreensão de alguns conceitos, como o funcionamento dos motores e a lógica necessária para seu funcionamento.

Foram utilizados dois motores de passo, um circuito de controle e três sensores que serviram como leitores do caminho. Os motores de passo são construídos com várias bobinas que podem ser ligadas em passo completo ou meio-passo. Para o passo completo, é possível realiza-lo de duas maneiras, a primeira consiste em apenas uma das bobinas é energizada por vez e o movimento do motor é forçado seguindo uma das bobinas por vez, e na segunda duas bobinas são ligadas por vez, o movimento se dá entre duas bobinas, por usar duas bobinas o movimento obtém mais torque e, portanto, mais força para movimentar o carrinho, por exemplo. Esse modelo, que está explicado na figura abaixo, foi escolhido não apenas pela força obtida, mas também, pela simplicidade que é permitida na hora de projetar o circuito.

Fig. 1 – Energização bobinas de passo completo.



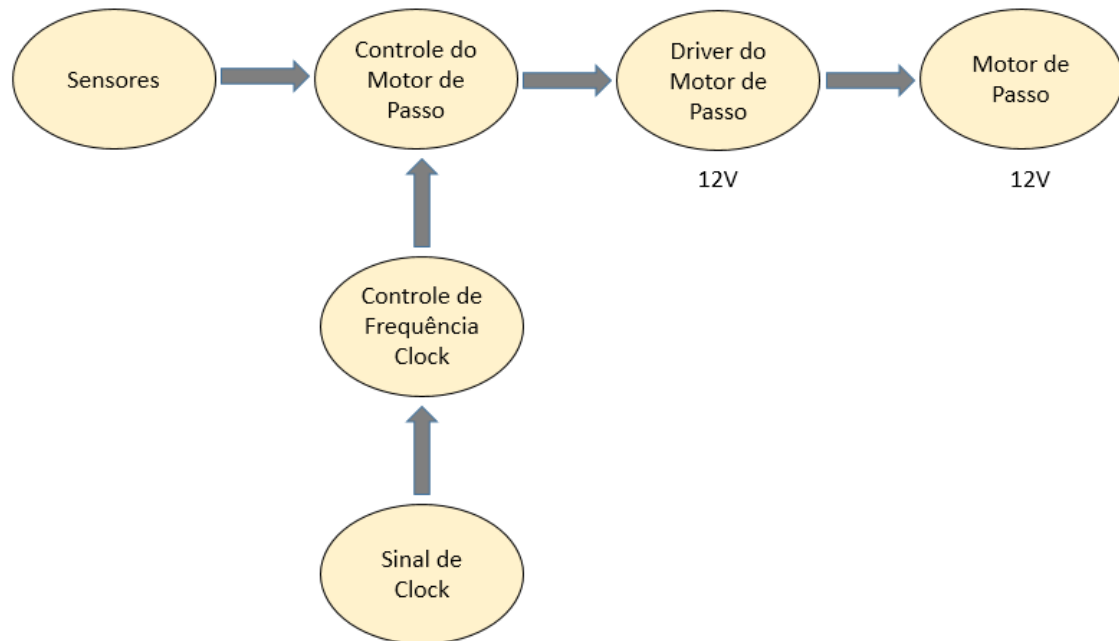
Fonte: [1]

Além destes há ainda um terceiro modo chamado meio-passo que mescla os dois anteriores produzindo um passo intermediário o que dá mais precisão aos movimentos, já que não se necessita dessa precisão para alcançar o objetivo, sendo que isso deixaria o circuito ainda mais complexo esse método não foi utilizado.

Lógica do Circuito

A figura 2 mostra o mapa completo do projeto desde as entradas (sensores) até as saídas (motores de passo). Ao longo do relatório, será desmembrado e explicado cada seção representada na figura.

Fig. 2 – Mapa lógico do circuito



Fonte: Autor próprio

Clock

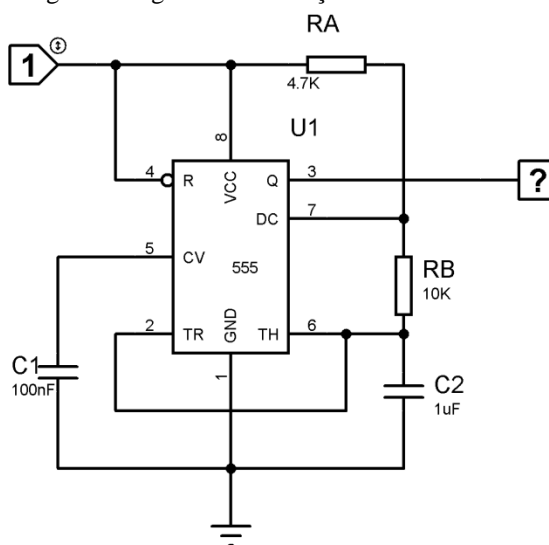
Para determinar a entrada de clock na lógica foi programado um gerador de clock como se segue abaixo:

Considerando $C=1\mu\text{F}$, $R_a=4,7\text{K}\Omega$ e $R_b=10\text{K}\Omega$ tem-se que:

- I) $f = \frac{1,44}{(R_a + 2R_b)C} = \frac{1,44}{(4700 + 2(10000))(10^{-6})} = 58,3\text{Hz}$
- II) Sendo que $T_b = 0,7R_bC \rightarrow 0,7(10\text{k})(10^{-6}) \rightarrow 7\text{ms}$
- III) Sendo que $T_a = 0,7(R_a + R_b)C \rightarrow 0,7(4,7\text{k} + 10\text{k})(10^{-6}) \rightarrow 10,3\text{ms}$, sendo essa a razão cíclica.

Segue abaixo na figura 03 a simulação do gerador de clock:

Fig. 3 – Diagrama de transição de estados



Fonte: Autor próprio

Controle dos motores de passo

Este circuito de controle é o responsável pela energização das bobinas do motor de passo com o intuito de rodar seu eixo no sentido desejado (horário ou anti-horário) ou ainda cessar seu giro. Como se deseja a rotação em passo completo, energiza-se duas bobinas ao mesmo tempo como explicado na introdução.

Descrevendo essa sequência de energização representado na Fig. 1 em uma tabela com bobinas nomeadas em A, B, C e D obtém-se:

Tabela 1 – Energização bobinas de passo completo

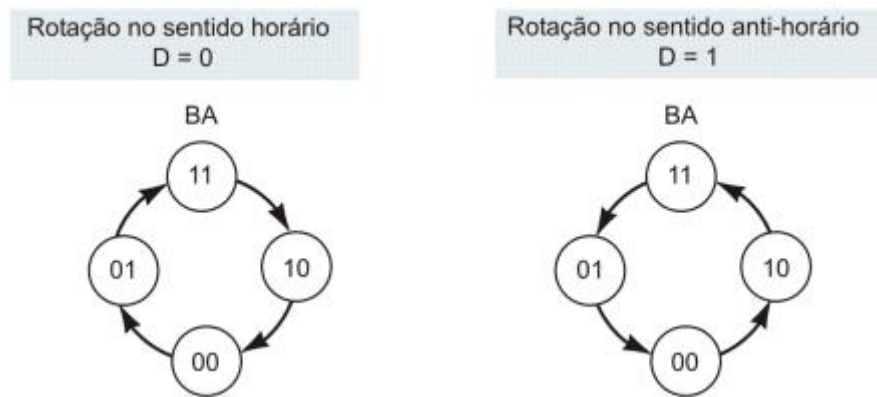
	A	B	C	D
Posição 1	1	1	0	0
Posição 2	0	1	1	0
Posição 3	0	0	1	1
Posição 4	1	0	0	1

Fonte: Autor Próprio

Nota-se que C é conjugado de A ($C = A'$) enquanto que D é conjugado de B ($D = B'$). Devido a isso, analisa-se a transição dos estados apenas para as bobinas A e B para facilitar a implementação do projeto. Além disso, a rotação no sentido horário ocorre na sequência de cima para baixo enquanto que o anti-horário é a sequência oposta.

Assim, o digrama de transição de estados é representado por:

Fig. 4 – Diagrama de transição de estados



Fonte: [2]

Sendo “D” uma entrada que define o sentido de rotação do motor, e como há 4 estados pode-se utilizar dois flip-flop’s para o controle de um motor, como evidenciado pela tabela-verdade a seguir.

Tabela 2 – Transições de estados das bobinas do motor de passo

entrada	Estado atual		próximo estado		Flip-Flops			
D	A	B	A'	B'	Ja	Ka	Jb	Kb
0	1	1	0	1	x	1	x	0
0	0	1	0	0	0	x	x	1
0	0	0	1	0	1	x	0	x
0	1	0	1	1	x	0	1	x
1	1	1	1	0	x	0	x	1
1	0	1	1	1	1	x	x	0
1	0	0	0	1	0	x	1	x
1	1	0	0	0	x	1	0	x

Fonte: Autor próprio

Realizando os mapas K para cada saída tem-se que, sendo (+) = XOR:

$$Ja = \overline{D (+) B}$$

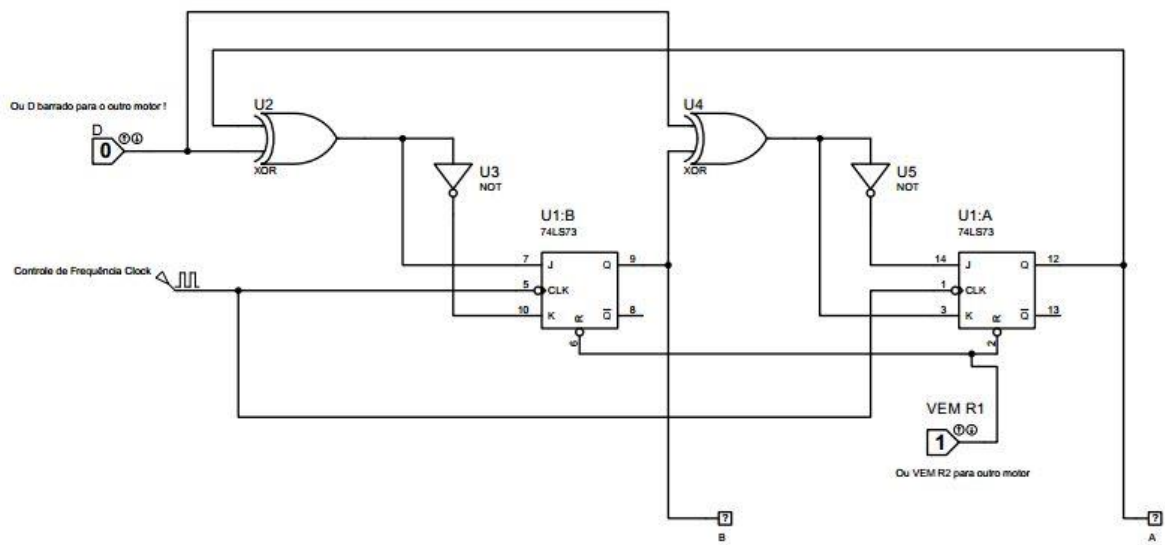
$$Ka = D (+) B$$

$$Jb = D (+) A$$

$$Kb = \overline{D (+) A}$$

Devido a disponibilidade no mercado, decidiu-se utilizar o CI 74LS73 para o flip-flop J-K já que o mesmo possui a entrada CLEAR que será utilizada para parar o motor. Com isso, o circuito simulado está representado na figura 5.

Fig. 5 – Simulação da lógica de controle.



Fonte: Autor próprio

Sensores

Os sensores são as entradas do circuito que serão responsáveis por controlar o motor de passo. Há algumas formas de permitir com que o carro consiga seguir sua trajetória em uma curva. Para isso, será separado em duas abordagens:

- Curva leve: reduz a velocidade da roda mais interna à curva enquanto aumenta a da mais externa.
- Curva significativa: trava a roda mais interna e mantém a velocidade na outra.

Devido às limitações do projeto e também com o objetivo de simplificar a montagem, para a primeira abordagem decidiu-se apenas reduzir a velocidade de uma roda enquanto que a outra é mantida. Como a velocidade é controlado pela frequência de *clock* (utilizando CI 555), então, reduzi-la afeta diretamente na rapidez do carro.

Como os sensores transmitem o nível lógico “0” quando identificam a fita adesiva preta (que será o percurso) e “1” quando identificam o fundo branco, então, elabora-se a tabela-verdade para todas as combinações de possibilidades dos sensores

(Se – sensor da esquerda, Sc – sensor do centro, Sd – sensor da direita, D – sentido de rotação, R1 e R2 são os CLEAR’s dos FF’s da roda da esquerda e direita, respectivamente, e E1 e E2 são os bit’s responsáveis para ativar a divisão de frequência do clock para o dispositivo de controle de cada roda – esquerda e direita respectivamente):

Tabela 3 – Ação do seguidor de acordo com a entrada dos sensores

Ação	Se	Sc	Sd	D	R1	R2	E1	E2
PARAR	0	0	0	0	0	0	0	0
CURVA ESQUERDA LEVE	0	0	1	0	1	1	1	0
SITUAÇÃO ATÍPICA	0	1	0	0	0	0	0	0
CURVA ESQUERDA PESADA	0	1	1	0	0	1	0	0
CURVA DIREITA LEVE	1	0	0	0	1	1	0	1
FRENTE	1	0	1	0	1	1	0	0
CURVA DIREITA PESADA	1	1	0	0	1	0	0	0
RÉ	1	1	1	1	1	1	0	0

Fonte: Autor próprio

Assim, por meio dos mapas K, é possível encontrar a expressão lógica simplificada das saídas:

$$D = Se.Sc.Sd$$

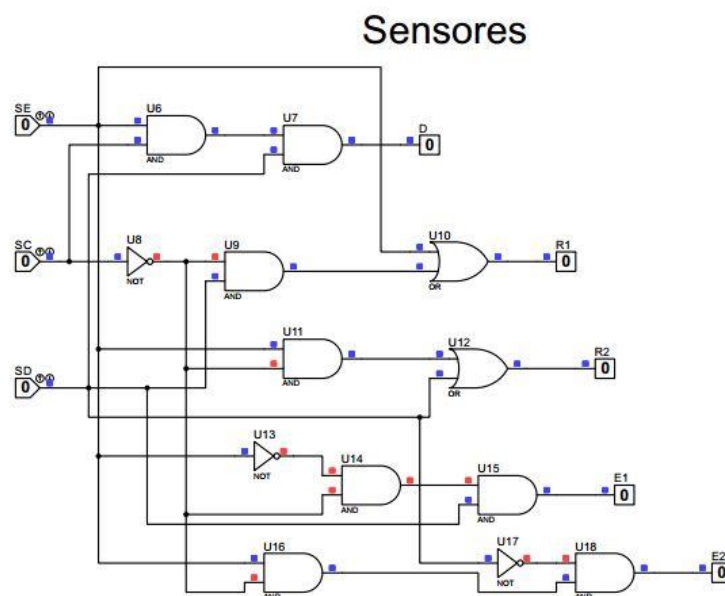
$$R1 = \overline{Sc}.Sd + Se$$

$$R2 = Se.\overline{Sc} + Sd$$

$$E1 = \overline{Se}.\overline{Sc}.Sd$$

$$E2 = Se.\overline{Sc}.\overline{Sd}$$

Fig. 6 – Simulação da lógica dos sensores.



Fonte: Autor Próprio

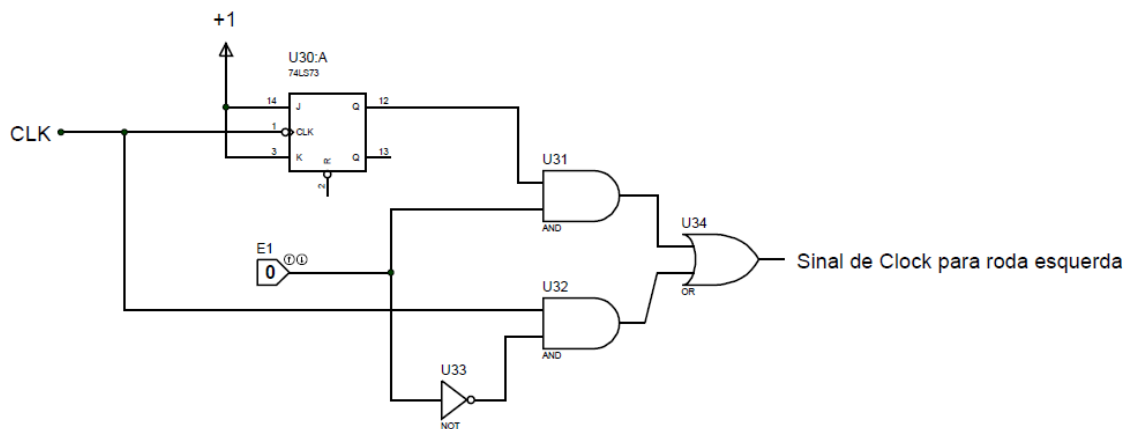
Controle de Frequência do sinal de Clock

A frequência do clock que é a responsável por controlar a velocidade de rotação do motor de passo. Assim, se a finalidade é mudar a direção do carrinho ao passar por uma curva, é preciso que a velocidade da roda mais próxima ao raio de curvatura seja reduzida em relação a roda do lado oposto. Há ainda a possibilidade em que a roda interna seja travada enquanto a externa continua sua rotação.

No entanto, ao utilizar um divisor de frequência por meio de FF J-K, há um atraso inerente ao circuito de memória que pode afetar o sincronismo entre as rodas. Como no projeto não há um cascadeamento significativo de dispositivos de memória esse atraso se torna insignificante.

Desse modo, para decidir entre usar o sinal de *clock* em frequência normal ou reduzida, elaborou-se um circuito digital controlado por uma variável “E1” e “E2” que se caso for 1, transmitirá o *clock* de frequência menor para a roda correspondente enquanto que para o outro com frequência normal.

Fig. 7 – Circuito divisor de frequência da roda esquerda



Fonte: Autor próprio

Assim, tem-se que:

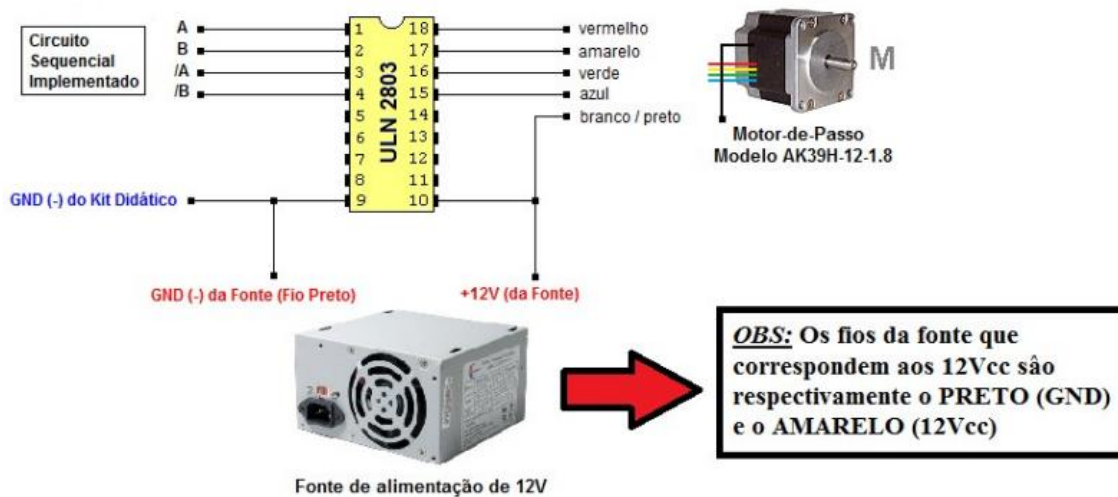
$$Sclock1 = Q.E1 + CLK.\overline{E1}$$

$$Sclock2 = Q.E2 + CLK.\overline{E2}$$

Driver Motor de Passo

O driver do motor de passo utilizado é o CI 2083 o qual permite acionar o motor de passo no nível de corrente necessário. Suas conexões com o motor e o bloco de controle estão como representado na figura abaixo.

Fig. 8 – Ligação ULN2903 e motor de passo

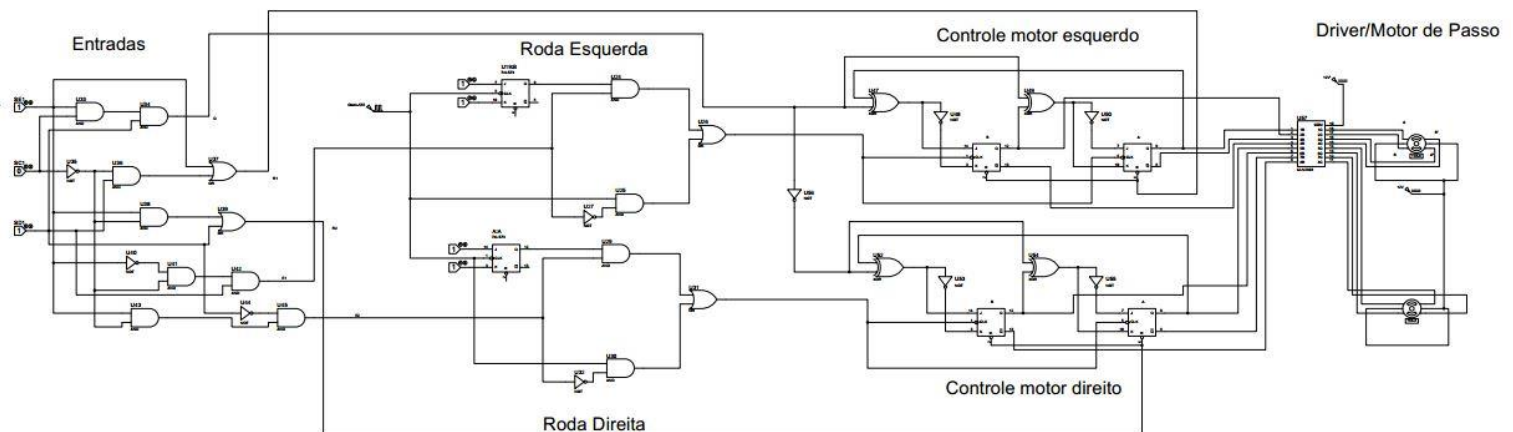


Fonte: [2]

Simulação

O circuito completo pode ser visualizado abaixo na figura 9.

Fig. 9 – Simulação da lógica de controle.



Fonte: Autor próprio

Todas as possibilidades de entrada foram testadas e o resultado saiu como o esperado. Com isso tem-se que a lógica funciona e o carro projetado seguindo o esquemático deverá executar a sua função.

Custos

Na tabela 04 constam as quantidades e o material utilizado na montagem, bem como, uma estimativa dos gastos derivado das compras dos CI's estipulados.

Tabela 04 Custos do projeto.

Quantidade	Itens	Custo (R\$)
*	Chassi e Jumpers	91,95
20	Jumpers	71,05**
1	Miniprotoboard	
3	TCRT5000	
1	ULN2803	
5	AND (74LS08)	
5	OR (74LS32)	
2	NOT (74LS04)	
2	XOR (74LS86)	10,00
5	FF-JK (74LS73)	25,00
1	Aluguel Motor	50,00
Total		248,00

* 1 Chassi e quantidades não definidas de Jumpers.

** Uma compra apenas, sem definição de preço unitário.

As protoboards utilizadas já estavam em posse da equipe.

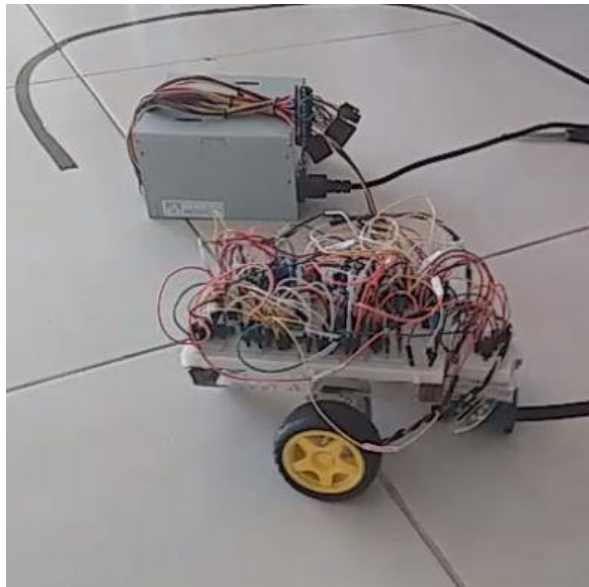
Montagem e Teste

O projeto foi montado e testado tendo o resultado esperado. A maior dificuldade observada na montagem veio dos sensores que tinham dificuldade de passar a informação corretamente para o circuito, mas, depois de alguns ajustes funcionou corretamente. O carrinho percorreu o caminho, proposto pelo professor, em aproximadamente dois minutos.

Abaixo, na figura 09, está o carrinho em um dos seus testes.

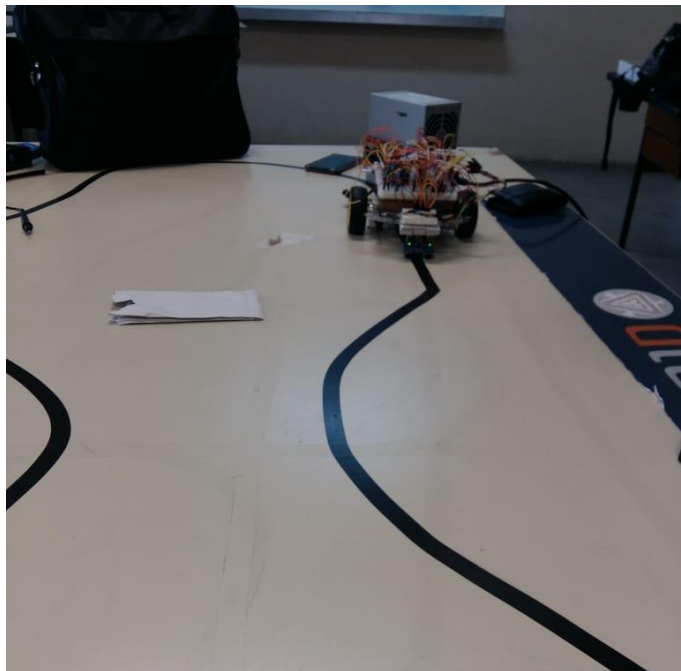
Na figura 10, tem-se o teste executado na “pista” proposta pelo professor.

Fig. 9 – Teste do seguidor de linha.



Fonte: Acervo próprio.

Fig. 10 – Teste do seguidor de linha no Laboratório.



Fonte: Acervo próprio.

Conclusão

Ao fim do projeto, a equipe alcançou o objetivo pretendido, ao longo destas semanas esta teve de projetar, além de simular e executar um código que deverá ser implementado em um carrinho seguidor de linha capaz de executar o circuito proposto ao fim da disciplina.

Durante a montagem do projeto, foi possível aplicar muitos dos conceitos aprendidos em sala, tais como os que dizem respeito ao uso de portas lógicas, mapas de Karnaugh e máquinas de estado utilizando-se de flip-flops.

Pôde-se notar que em diversos momentos do projeto as dificuldades surgiram. Entretanto estas consistiram em grande parte somente na parte mecânica do mesmo, mantendo-se concisa a parte lógico-operacional.

A construção do projeto desde o seu desenvolvimento traz um novo olhar sobre a disciplina gerando interesse e admiração pela mesma, e como método de ensino é efetivo, uma vez que traz uma proposta de aplicação do conteúdo.

Referências

- [1] UNESP. **Motor de Passo.** Disponível em: <<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/aula3-motor-de-passo-2013-1-13-03-2013-final.pdf>> Acesso em: 20 de Junho de 2019.
- [2] Manual da prática de laboratório de eletrônica digital – UFC 2019