

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Energias Alternativas e Renováveis
Departamento de Engenharia Elétrica

Alef Kaian Feitosa Barbosa

**Estágio supervisionado no Laboratório de
Automação e Controle - LAC**

João Pessoa, 2019

Alef Kaian Feitosa Barbosa

Estágio supervisionado no Laboratório de Automação e Controle - LAC

Relatório de estágio apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Ademar Virgolino da Silva Netto

Supervisor: Carlos Alberto de Souza Filho

João Pessoa, 2019

Relatório de estágio intitulado ***Estágio supervisionado no Laboratório de Automação e Controle - LAC*** de autoria de Alef Kaian Feitosa Barbosa, aprovado pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Ademar Virgolino da Silva Netto

Orientador - DEE/UFPB

Prof. Dr. Carlos Alberto de Souza Filho

Supervisor - DEE/UFPB

Prof. Dr. Rafael de Sousa Marinho

Avaliador - DEE/UFPB

João Pessoa, 2019

Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba
Lot. Cidade Universitaria, Castelo Branco, João Pessoa, Paraíba, Brasil CEP: 58051-900

Fone: +55 (83) 3216-7200

RESUMO

O Laboratório de Automação e Controle é um laboratório destinado a ser utilizado para o desenvolvimento das atividades práticas da área de controle e automação do Curso de Engenharia Elétrica. No estágio, foram desenvolvidas atividades que tinham como objetivo melhorar a utilidade de ferramentas que já estavam presentes no laboratório e desenvolver novas ferramentas que poderiam ser utilizadas para a finalidade dele. As atividades consistiram no desenvolvimento de duas estruturas para o manipulador robótico presente no laboratório e um robô móvel. As duas estruturas foram projetadas, montadas e testadas e os funcionamentos delas ocorreram como era esperado em seus projetos. O robô móvel foi projetado e foi começado a sua montagem, porém a falta de componentes não permitiu que fosse terminada. Por fim, as estruturas montadas poderão ser utilizadas em disciplinas desenvolvidas no laboratório e o projeto do robô foi deixado à disposição para os alunos e professores para que possa ser dado continuidade.

Palavras-chave: Automação, Controle, Eletrônica, Garra robótica, Robô móvel.

ABSTRACT

The Laboratory of Automation and Control is designated to develop practical activities in the field of control and automation of the Electrical Engineering course. In the internship, activities were developed aiming to improve the utility of tools that were already present in the lab and develop new tools that could be used for its purpose. The activities consisted in the development of two structures to be used in the robotic manipulator present in the lab and the development of a mobile robot. Both structures were designed, built and tested and their functionality occurred as predicted during design. The mobile robot was designed and its building was started, but the lack of components didn't allow it to be finished. Lastly, the built structures will be able to be used in courses developed in the laboratory and the robot's design was made available for the students and teachers so it can be resumed.

Keywords: Automation, Control, Electronics, Robot gripper, Mobile robot.

LISTA DE FIGURAS

1	Estrutura de um manipulador robótico e sua relação com o corpo humano	11
2	Modelo de braço robótico instalado no LAC	11
3	Estruturas do manipulador SMART5 NS 16 kg	12
4	Exemplo de frame	13
5	Frames utilizados pelo manipulador	14
6	Garra pneumática utilizada no braço	14
7	Garra que era utilizada para segurar o pincel	15
8	Representação da estrutura montada no LAC	15
9	Esboço da estrutura deslizante pensada	16
10	Esboço da estrutura para limitar o movimento do tubo de menor diâmetro	17
11	Estrutura montada	18
12	Estrutura fixada ao braço	18
13	Resultado dos testes feitos com o pincel na nova estrutura	19
14	Pesos cilíndricos presentes no LAC	20
15	Peça desenhada no SolidWorks	20
16	Vista da seção da peça	21
17	Prévia da peça montada	21
18	Garra nova acoplada ao braço e comparativo dos tamanhos dela e da antiga para a função designada	22
19	Estruturas do robô projetadas	24
20	Circuito de uma ponte H	24
21	Valores de resistência equivalente dos transistores dos drivers pré-selecionados	25
22	Módulo DRV8833	26
23	Microcontrolador ATmega328p	27
24	CI regulador de tensão LM1117	27
25	Circuito de alimentação da placa	28
26	Funcionamento de um encoder ótico	29
27	Circuito de condicionamento utilizado para o encoder ótico	30
28	CI NRF24L01 utilizado para comunicação em rádio-frequência utilizando o protocolo SPI	31

29	Placa de circuito impresso projetada para o circuito do robô	31
30	Desenho das trilhas e placa de fenolite utilizada	32
31	Desenho passado para a placa por aquecimento	33
32	Processo de corrosão da placa por percloroeto e o resultado desse processo	33
33	Processo de furação e placa pronta	34

LISTA DE ABREVIATURAS

LAC – Laboratório de Automação e Controle

UFPB - Universidade Federal da Paraíba

CEAR - Centro de Energias Alternativas e Renováveis

TP - Teach Pendant

CI - Circuito integrado

I2C - Inter-Integrated Circuit

SPI - Serial Peripheral Interface

UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	RELATÓRIO DAS ATIVIDADES	10
2.1	DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA NIVELADORA PARA A FERRAMENTA DO MANIPULADOR ROBÓTICO	10
2.1.1	O manipulador robótico	10
2.1.2	Problemática	14
2.1.3	Desenvolvimento da nova estrutura	16
2.2	DESENVOLVIMENTO DE UMA GARRA PARA O MANIPULADOR ROBÓTICO	19
2.2.1	Problemática	19
2.2.2	Desenvolvimento da nova garra	19
2.3	DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ MÓVEL	22
2.3.1	Robôs móveis	22
2.3.2	Problemática	23
2.3.3	Desenvolvimento do robô	23
3	CONCLUSÃO	35
4	REFERÊNCIAS	36
	APÊNDICE 1 – ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO DO ROBÔ	39

1 INTRODUÇÃO

O Laboratório de Automação e Controle (LAC) é um dos laboratórios da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) oferecidos ao curso de Engenharia Elétrica, do Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR). Este laboratório é utilizado para atividades práticas complementares de algumas disciplinas do curso de Engenharia Elétrica relacionadas à ênfase de Controle e Automação, entre elas, Instrumentação Industrial, Sistemas de Aquisição de Dados e Interface, Informática Industrial, Sistemas de Eventos Discretos e Controle I.

Dessa forma, as atividades desenvolvidas nas disciplinas citadas anteriormente neste laboratório devem-se ao fato dele conter modelos didáticos de equipamentos tipicamente usados em indústrias automatizadas, como sensores de presença, que detectam se um objeto está em um determinado local, sensores de temperatura, que medem a temperatura do ambiente ou de um objeto a que ele está acoplado, e sensores de nível, que medem o nível de uma substância líquida em um recipiente, como um tanque. Ademais, há também à disposição um manipulador robótico fabricado pela COMAU, modelo SMART5 NS 16 kg, o qual permite o estudo da dinâmica do movimento deste dispositivo a partir da configuração das coordenadas por meio do uso de um painel configurável.

O estágio realizado no LAC foi o supervisionado obrigatório, com o Prof. Dr. Ademar Virgolino da Silva Netto sendo o orientador e o Prof. Dr. Carlos Alberto de Souza Filho sendo o supervisor. Ele foi realizado entre o dias 4 de março de 2019 e 30 de abril do mesmo ano, com a carga horária de 30 horas semanais, totalizando 180 horas.

As áreas do conhecimento enfatizadas no estágio foram automação, controle, mecânica, robótica e eletrônica. O objetivo das atividades realizadas durante o estágio são: desenvolver estruturas utilitárias para compor a ferramenta de trabalho do braço robótico e elaborar /kits/ didáticos para servir de instrumento de aprendizado durante as práticas nas disciplinas. Portanto, para realização destas atividades foi necessário agregar os conhecimentos adquiridos ao longo da formação acadêmica, como: automação, controle, mecânica, robótica e eletrônica.

2 RELATÓRIO DAS ATIVIDADES

As atividades desenvolvidas durante o estágio consistiram em: projeto e concepção de uma estrutura niveladora para a ferramenta do manipulador (braço) robótico presente no laboratório, projeto e concepção de uma garra para o manipulador robótico, e o projeto e concepção de um robô móvel de duas rodas para ser utilizado como ferramenta de apoio em disciplinas da ênfase de Controle e Automação do curso de Engenharia Elétrica.

Dessa forma, para melhor compreensão, a descrição de cada uma das atividades estão separadas em seções, sendo: 2.1 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA NIVELADORA PARA A FERRAMENTA DO MANIPULADOR ROBÓTICO, 2.2 - DESENVOLVIMENTO DE UMA GARRA PARA O MANIPULADOR ROBÓTICO e 2.3- DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ MÓVEL.

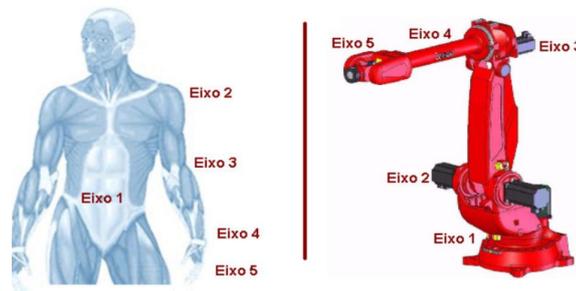
2.1 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA NIVELADORA PARA A FERRAMENTA DO MANIPULADOR ROBÓTICO

2.1.1 O manipulador robótico

Um manipulador robótico é um robô industrial com características antropomórficas que tentam imitar os movimentos de um braço humano. Este movimento é dado por meio de atuadores, como motores e bombas, que movimentam a base do robô e os elos, que são ligados por juntas. Além dos atuadores, se faz necessário a utilização de sensores de posição, como encoders e câmeras, os quais exercem a função de informar ao sistema de controle a posição dos elos.

Portanto, as principais atividades industriais exercidas por este tipo de dispositivo são o manuseamento de ferramentas e posicionamento peças de montagem, de forma automática, para aumentar a produção da indústria (SIMPLÍCIO e LIMA, 2016). Do ponto de vista laboratorial, o manipulador robótico possibilita aos alunos adquirir o conhecimento da dinâmica do movimento e o modo de programação de uma ferramenta amplamente utilizada na indústria. Na Figura 1 ilustra-se a estrutura de um manipulador robótico e sua relação com características humanas..

Figura 1 – Estrutura de um manipulador robótico e sua relação com o corpo humano



Fonte: COMAU.

O modelo do manipulador que está instalado no LAC é o SMART5 NS 16 kg da fabricante Comau. Esse modelo pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Modelo de braço robótico instalado no LAC



Fonte: COMAU.

O manipulador robótico é constituído basicamente por três estruturas. A primeira é a unidade de controle, que é responsável por todo o sistema operacional e de controle deste dispositivo, constituído por: módulos de controle eletromecânico, a CPU, o módulo de alimentação principal e o ininterrupto, os drivers dos motores, o módulo de segurança e as conexões para os protocolos de comunicação. Já a segunda estrutura é o Teach Pendant (TP), que é a interface do usuário com a unidade de controle. Este dispositivo é utilizado para comandar os movimentos do robô de forma manual ou programada e para mostrar informações de status e mensagens do sistema. Por fim, a terceira estrutura é a estrutura eletromecânica do manipulador, composta por motores, pela base, por juntas, elos e pela flange, a qual é responsável por realizar

os movimentos circulares no último elo, servindo para a acoplagem de ferramentas. A estrutura mecânica já foi ilustrada na Figura 2 e as outras duas podem ser vistas na Figura 3.

Figura 3 – Estruturas do manipulador SMART5 NS 16 kg



Fonte: COMAU.

A movimentação do braço é feita de duas formas diferentes, que são apresentadas a seguir.

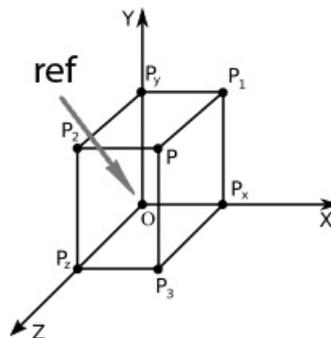
1. Seguindo um sistema de frames, que são bases de coordenadas cartesianas no espaço, em que o operador define uma trajetória e a posição final do movimento e a unidade de controle gera o conjunto de movimentos dos motores necessários para que o braço realize aquele movimento.
2. Rotacionando cada junta individualmente, ao acionar o motor de cada uma individualmente, de modo que a combinação de todas as rotações leva ao movimento desejado.

A movimentação pelo sistema de frames é a mais utilizada, por ser controlada pela unidade de controle, que faz com que os movimentos sejam mais precisos.

Um frame é um sistema de coordenadas cartesianas no espaço que é usado como referência para mapear a área de ação do robô, determinar a posição atual do

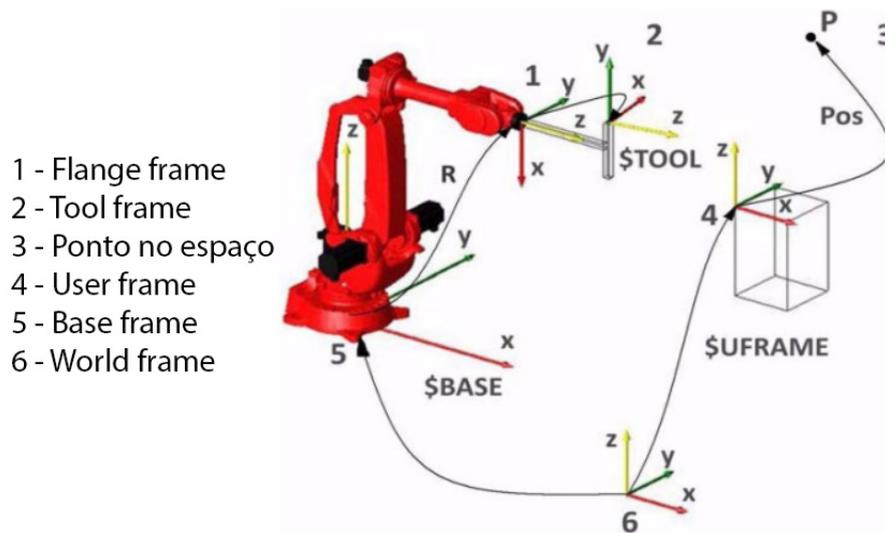
braço e dos pontos de interesse para o movimento do braço. Um exemplo de frame é mostrado na Figura 4, onde a origem é o ponto de referência do frame. Os frames do braço são descritos por conversões de coordenadas de um frame para outro, ou seja, cada frame é um subespaço de outro frame. Os três frames que são utilizados como referência para o robô são o base frame, o tool frame e o user frame. O base frame descreve a posição da base do braço em relação ao world frame (que é o local onde a estrutura mecânica está instalada), o tool frame descreve a posição da ponta da ferramenta que está sendo utilizada pelo robô em relação ao flange frame (que descreve a posição da flange no braço), e o user frame é um frame definido pelo usuário para descrever a região do espaço em que se quer trabalhar em relação ao world frame. Todos os pontos mapeados pelo robô são mapeados em relação ao user frame. Esses frames podem ser visualizados na Figura 5.

Figura 4 – Exemplo de frame



Fonte: Adaptado de VECTORS AND GEOMETRY.

Figura 5 – Frames utilizados pelo manipulador



Fonte: COMAU.

2.1.2 Problemática

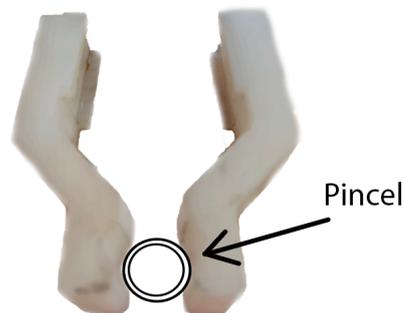
No início do estágio, o braço robótico só possuía uma funcionalidade, que era fazer desenhos num quadro branco utilizando um pincel. Uma garra pneumática modelo GR01F, como o da Figura 6, está acoplada à flange do robô, e ela só pode abrir ou fechar completamente, ou seja, não atinge posições intermediárias. Nessa garra estava acoplada outra garra adaptada ao diâmetro do pincel, de 18 mm, que era usada para segurá-lo quando estivesse na posição fechada, como representado na Figura 7.

Figura 6 – Garra pneumática utilizada no braço



Fonte: AIGNEP.

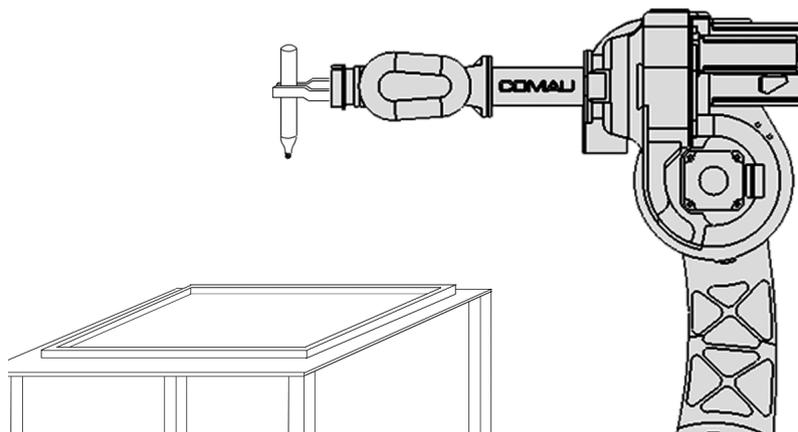
Figura 7 – Garra que era utilizada para segurar o pincel



Fonte: Autoria própria.

Na área de ação do robô estava uma mesa com um quadro branco em cima, na posição horizontal. O tool frame foi definido com referência na ponta do pincel e o user frame foi definido com referência na área de desenho do quadro, e assim, ao se manter o eixo z constante, era possível se fazer desenhos no quadro utilizando o braço. Uma representação desse funcionamento pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Representação da estrutura montada no LAC



Fonte: Autoria própria.

O problema que estava ocorrendo era que a superfície do quadro não era totalmente plana, mas sim ondulada, então, quando um desenho era feito, já que a coordenada z do movimento era constante, ou o traço ficava descontínuo em algumas regiões por estarem nos vales das ondulações, ou era necessário aumentar o valor da

coordenada z do movimento para compensar os vales das ondulações e aí nas regiões mais rasas a ponta do pincel era forçada contra o quadro, desse modo o atrito entre os dois aumentava e o traço do desenho ficava mais forte.

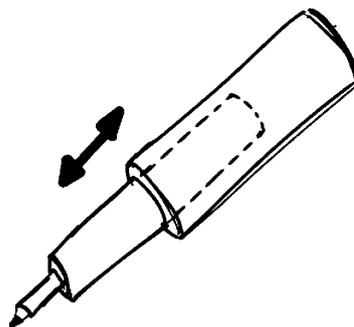
2.1.3 Desenvolvimento da nova estrutura

O problema a ser resolvido era encontrar uma forma do traço do pincel se tornar uniforme ao longo do desenho e da ponta do pincel não ser forçada contra o quadro.

A solução encontrada foi desenvolver uma nova estrutura para o pincel com um sistema de amortecimento utilizando uma mola, de modo que ela fosse flexível o suficiente para absorver a força excessiva que era imposta ao pincel quando ele estava numa região mais rasa, e fosse dura o suficiente para conseguir manter o traço constante nas regiões mais fundas.

Para ocorrer o nivelamento do pincel é necessário que ele possa fazer movimentos verticais. Para isso foi pensado em dois tubos com diâmetros diferentes, de modo que um pudesse deslizar por dentro do outro, e o pincel ficaria acoplado em um deles, como mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Esboço da estrutura deslizante pensada

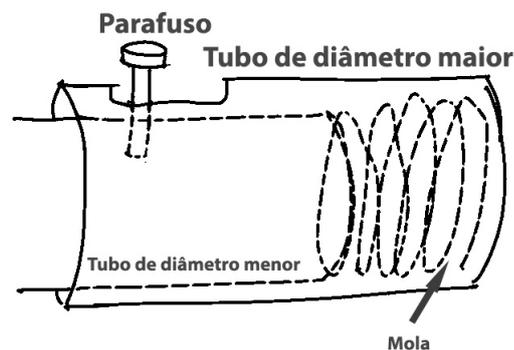


Fonte: Autoria própria.

Para o nivelamento do pincel, como já foi dito, foi utilizada uma mola. Essa mola foi colocada no fundo do tubo com diâmetro maior para amortecer o movimento do tubo com diâmetro menor e assim ser resolvido o problema do pincel. O problema é que

o movimento do tubo de menor diâmetro estava limitado em um sentido pela mola e pelo fundo do tubo de maior diâmetro, mas no outro sentido não estava limitado por nada, então haveria o risco do tubo de diâmetro menor deslizar pra fora e não voltar à posição original, por ação da gravidade. Esse problema foi resolvido ao se fazer um rasgo em forma de corredor na lateral do tubo de diâmetro maior e passar um parafuso pelo tubo de diâmetro menor na região que passa dentro do outro tubo, de modo que o movimento dele ficasse limitado ao tamanho do rasgo. Como o rasgo limitaria o movimento do tubo, o comprimento do rasgo deveria maior que a profundidade dos vales das ondulações no quadro. Como a profundidade desses vales não era maior que 2 mm, então qualquer comprimento para o rasgo acima desse valor já era suficiente. Assim, foi feito um rasgo de 30 mm. Essa ideia é ilustrada na Figura 10.

Figura 10 – Esboço da estrutura para limitar o movimento do tubo de menor diâmetro



Fonte: Autoria própria.

Para a montagem da estrutura foram utilizados dois tubos de PVC de 1" e 3/4", uma mola e 4 parafusos tamanho M5. O tubo de 3/4" não conseguia passar por dentro do tubo de 1", portanto ele teve que ser lixado até que o diâmetro fosse suficiente para que ele pudesse deslizar pelo outro tubo sem ficar folgado. Além disso, foi colocado um pouco de vaselina entre os tubos para diminuir o atrito entre eles. Para fixar o pincel no tubo foram feitos três furos rosqueados espaçados de 120° e colocado um parafuso em cada furo para que o pincel ficasse preso por eles. A estrutura montada é ilustrada na Figura 11.

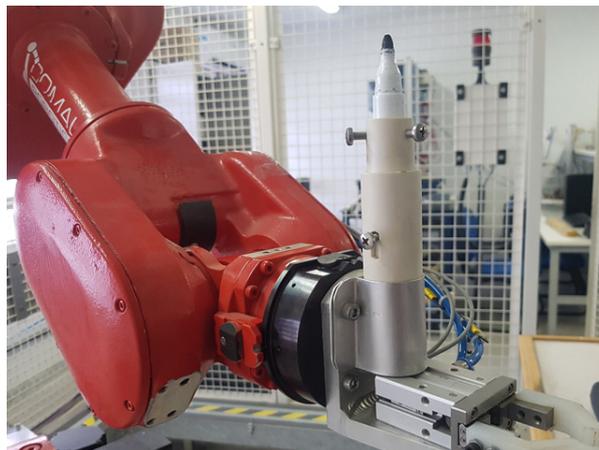
Figura 11 – Estrutura montada



Fonte: Autoria própria.

Para acoplar essa estrutura ao braço foi feita uma estrutura de alumínio que pressiona ela contra a flange e é fixada por parafusos. A estrutura montada já fixada ao braço pode ser vista na Figura 12.

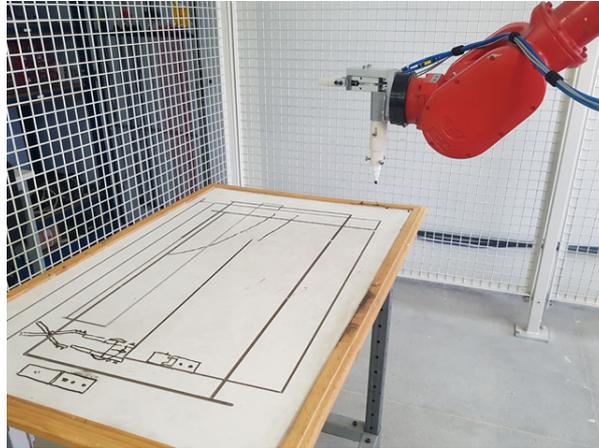
Figura 12 – Estrutura fixada ao braço



Fonte: Autoria própria.

Finalmente, foram feitos alguns testes ao se desenhar retas com o pincel nessa nova estrutura e foi verificado que os traços ficaram uniformes e o pincel não foi forçado. O resultado dos testes é mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Resultado dos testes feitos com o pincel na nova estrutura



Fonte: Autoria própria.

2.2 DESENVOLVIMENTO DE UMA GARRA PARA O MANIPULADOR ROBÓTICO

2.2.1 Problemática

Como foi dito anteriormente, a única função do robô era de fazer desenhos num quadro branco. Isso se dava porque a garra que estava nele só tinha dimensões para pegar um pincel, como já mostrado na Figura 7. A garra não atinge posições intermediárias, como já foi dito, então, se tentasse pegar qualquer objeto com diâmetro maior que sua aberta na posição fechada, ou a garra ou o objeto seria rompido pelo esforço mecânico imposto pela válvula pneumática.

O objetivo do desenvolvimento da garra nova era que o robô pudesse pegar alguns objetos cilíndricos de pesos diferentes que estão presentes no LAC, como mostrados na Figura 14, pois eles são utilizados nas esteiras de um kit didático e assim seria possível integrar o braço às elas para simular um processo industrial.

2.2.2 Desenvolvimento da nova garra

A solução encontrada foi de se desenvolver uma nova garra, similar à anterior, mas com as dimensões ajustadas para esses objetos. Uma vez que fosse conseguido

Figura 14 – Pesos cilíndricos presentes no LAC

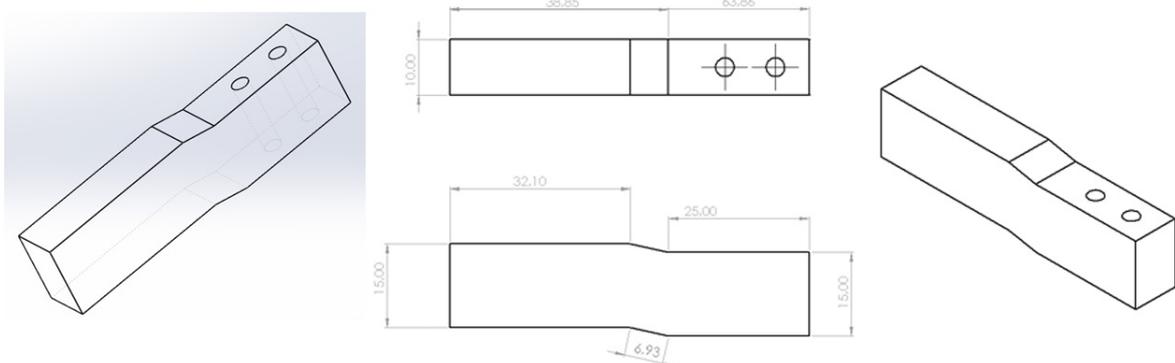


Fonte: Autoria própria.

replicar essa garra, poderiam ser feitas diversas novas garras de diferentes dimensões adaptadas para diferentes objetos.

A nova garra foi desenhada utilizando o Software de desenho 3D SolidWorks 2018 e suas dimensões foram as mesmas da garra antiga, com exceção da abertura, que foi definida levando em conta as dimensões da garra pneumática fechada e as dimensões dos objetos. O desenho feito da garra nova pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Peça desenhada no SolidWorks



Fonte: Autoria própria.

Ela foi feita em madeira MDF e para isso foi utilizada uma CNC laser que está localizada no laboratório FabLab, também disponibilizado ao curso de Engenharia Elétrica. A dimensão da espessura da garra nova era 10 mm e só se dispunha de material

com 3 mm de espessura. Isso quer dizer que teriam que ser feitas até 3 camadas da vista frontal mostrada na Figura 15. Para ser feito o espaço onde parafusos iam passar, foi feito um desenho da seção da peça em que estão os parafusos. Assim, a peça foi feita com duas camadas da vista frontal e uma camada da vista da seção, que é mostrada na Figura 16.

Depois de cortadas, o trabalho foi colar as camadas e ajustar o furo dos parafusos, pois os parafusos utilizados eram de tamanho M4 (4 mm de diâmetro) e, como já foi dito, cada camada possuía 3 mm de espessura. Na Figura 17 são mostradas as camadas cortadas e uma prévia de como a peça final deveria ser colada. Nessa figura as camadas externas estão mais grossas porque foram cortados alguns modelos utilizando MDF com espessura mais grossa, mas a peça que foi montada, no final, só possuía camadas de 3 mm de espessura.

Figura 16 – Vista da seção da peça



Fonte: Autoria própria.

Figura 17 – Prévia da peça montada

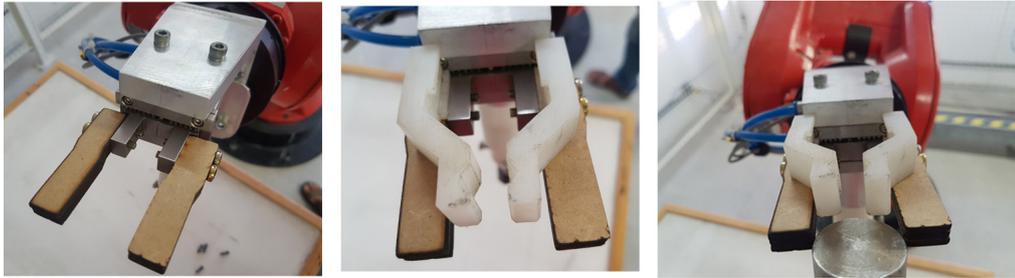


Fonte: Autoria própria.

Depois de colada e os furos ajustados, ela foi acoplada ao braço robótico pela garra pneumática e testada para pegar os objetos de interesse que eram o objetivo desse projeto. Na Figura 18 é mostrado a garra nova já acoplada ao braço e um

comparativo do tamanho da abertura da garra antiga com o da garra nova em relação ao tamanho do objeto que deveria ser pego.

Figura 18 – Garra nova acoplada ao braço e comparativo dos tamanhos dela e da antiga para a função designada



Fonte: Autoria própria.

2.3 DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ MÓVEL

2.3.1 Robôs móveis

Um robô móvel é uma estrutura com capacidade de se deslocar pelo espaço e que faz isso de forma autônoma (WOLF et al., 2009). Cada robô é projetado para uma função específica como, por exemplo, salvar pessoas de escombros, explorar um planeta inabitável ou aparar um gramado, entre inúmeras funções possíveis. Existem três tipos gerais de robôs móveis para diferentes ambientes possíveis (WOLF et al., 2009). De acordo com eles, o primeiro tipo são os robôs terrestres, que se movimentam por terrenos na superfície terrestre (ou de outros planetas). Eles normalmente se movimentam por rodas acopladas a motores controlados por um processador, mas também existem robôs terrestres que se movimentam por estruturas muito parecidas com a dos membros de animais, como pernas ou patas. O segundo tipo são os robôs aéreos, que se movimentam por motores acoplados a hélices ou turbinas e normalmente são chamados de veículos aéreos não tripulados. O terceiro tipo são os robôs marinhos, que se movimentam por superfícies aquáticas por motores acoplados a hélices, e alguns robôs mais modernos são feitos para se movimentar da mesma forma que os peixes (SUMARES, 2018).

2.3.2 Problemática

Desejava-se projetar e montar a estrutura de um robô móvel terrestre de duas rodas para o LAC, para ser utilizado como ferramenta didática para as disciplinas ministradas lá. O robô deveria possuir um circuito de controle para as rodas, com sensores e atuadores, um microcontrolador, para que a função do robô pudesse ser programada, alguns terminais, para permitir o acesso aos sinais dos sensores e atuadores e esses sinais pudessem ser analisados pelos alunos para entenderem o funcionamento desses componentes, e alguns protocolos de comunicação, para que o robô pudesse ser controlado por um controlador remoto, caso alguma limitação do microcontrolador, como memória ou capacidade computacional, não permitisse a realização de alguma função de complexidade computacional muito alta, como um controle por visão computacional.

2.3.3 Desenvolvimento do robô

A primeira coisa a ser pensada foi a estrutura física do robô, porque ela delimita a quantidade e o tamanho dos componentes e, em conjunto da escolha dos motores, define as especificações elétricas necessárias para movimentar o robô.

A carcaça utilizada foi a mostrada na Figura 19, que possui projeto livre disponível na web. Os motores são motores DC com caixa de redução e as especificações: tensão de alimentação de 3 a 6 V, torque de 0,35 Kgf/cm a 3 V e 0,80 Kgf/cm a 6 V e corrente sem carga de até 200 mA a 6 V e 150 mA a 3 V. As rodas possuíam 68 mm de diâmetro e 26 mm de largura e ainda seria utilizada uma roda boba para equilibrar a estrutura. A Figura 19 apresenta essas partes e uma prévia da estrutura completa montada.

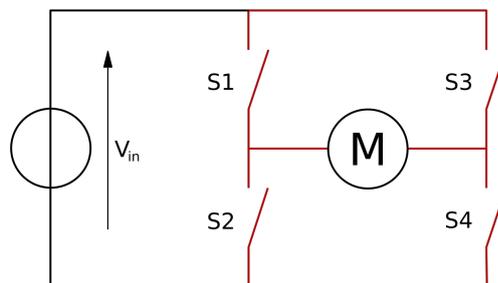
Figura 19 – Estruturas do robô projetadas



Fonte: Adaptado de METSHEIN e LOJA DA ELÉTRICA.

Com a estrutura física definida, o próximo passo foi definir o circuito de controle das rodas. Elas não podem ser alimentadas diretamente pelas saídas do microcontrolador, pois nenhum microcontrolador possui corrente suficiente para alimentá-las. Desse modo, é necessário se utilizar um circuito chamado de ponte H. A ponte H é um circuito que controla a quantidade e a direção da energia que é fornecida por uma fonte a uma saída, utilizando um conjunto de chaves (REIS, 2017). Esse circuito é mostrado na Figura 20. A ideia seria de utilizar uma alimentação externa para o motor e controlar as chaves da ponte H pelo microcontrolador.

Figura 20 – Circuito de uma ponte H



Fonte: BUTTAY.

Existem circuitos integrados (CIs) que possuem uma ponte H interna e são chamados de drivers. Alguns drivers precisam de circuitos externos para funcionar e por isso são comercializados módulos que possuem o driver e o circuito externo na mesma

placa e um desses foi escolhido para ser utilizado no robô. Como os motores precisam de no máximo 400 mA de corrente cada um e 6 V de uma alimentação externa para funcionar, era necessário um módulo que atendesse esses requisitos. Além disso, eles precisavam possuir uma queda de tensão baixa, de até 1 V, para não reduzir a tensão fornecida pela fonte e interferir no funcionamento de outros circuitos, que precisavam de um valor mínimo de 5 V, como será explicado na discussão do circuito de alimentação. Três módulos comercialmente atenderam esses requisitos e por isso foram considerados, o módulo DRV8833, o módulo TB6612 e o módulo VNH3SP30. Sabia-se que o módulo DRV8833 causava uma queda de tensão de 0,5 V na fonte, e essa queda é determinada pela resistência equivalente dos transistores internos da ponte H, quando estão em condução. Esses valores foram procurados nos datasheets dos drivers e podem ser vistos na Figura 21.

Figura 21 – Valores de resistência equivalente dos transistores dos drivers pré-selecionados

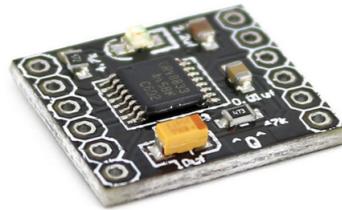
	Type	$R_{DS(on)}$	I_{out}	V_{ccmax}
VNH3SP30	VNH3SP30-E	45m Ω max (per leg)	30A	40V
DRV8833	– Low MOSFET ON-Resistance: HS + LS 360 m Ω			
TB6612FNG	Output low ON resistor; 0.5 Ω (upper+lower Typ. @ $V_M \geq 5$ V)			

Fonte: Adaptado de TOSHIBA, STMICROELECTRONICS e TEXAS INSTRUMENTS.

Por esse valores o VNH3SP30 seria o que apresentaria a menor queda de tensão, pois apresenta 180 m Ω de resistência equivalente, contra 360 m Ω e 500 m Ω dos concorrentes. Porém, ele é cerca de três vezes mais caro que os outros dois, e isso foi levado em conta no custo-benefício, já que a resistência equivalente dele só era metade da do DRV8833. Além disso, o VNH3SP30 só controla um motor enquanto os outros controlam dois, portanto seriam necessários dois e a diferença de custo seria ainda maior. Entre o DRV8833 e o TB6612, a diferença de preço é irrelevante e a resistência do TB6612 é maior, por isso o DRV8833 foi o escolhido.

Esse módulo pode ser visto na Figura 22. Ele possui capacidade de fornecer até 1,5 A de corrente por saída e tensão de 2,7 a 10,8 V de uma alimentação externa. Além disso, ele possui 4 saídas e 4 entradas (2 para cada motor), um pino de enable para habilitar ou desabilitar as saídas e já possui um regulador de tensão interno para o seu circuito de controle. Ele possui dois modos diferentes de funcionamento quando um sinal de PWM é utilizado. Um deles é o fast decay, em que, quando a alimentação é cortada, a corrente gerada pelos próprios motores (devido à inércia) flui pelos diodos internos do driver. O outro é o slow decay, em que o motor é curto circuitado quando as chaves estão abertas.

Figura 22 – Módulo DRV8833



Fonte: DX.

A terceira definição a ser feita no projeto foi o microcontrolador. Foi escolhido o ATmega328p da Atmel. Esse microcontrolador foi escolhido porque possui uma quantidade de pinos de propósito geral, resolução e frequência do conversor A/D, memória e capacidade de processamento suficientes para a aplicação e porque pode ser programado utilizando a IDE do Arduíno, que é uma plataforma de prototipagem muito difundida, de linguagem de programação com funções intuitivas e uma grande comunidade que provém suporte para resolução de problemas. Além disso, ao se utilizar essa IDE, o carregamento do programa para o microcontrolador é simples em relação a outros existentes no mercado, pois necessita apenas de um cabo USB e um conversor USB/UART. Esse microcontrolador também se tornou popular pelo seu baixo custo, em torno de R\$ 5,00 por peça, e por isso ele pode ser encontrado em qualquer loja de componentes eletrônicos e prototipagem. Ele é apresentado na Figura 23.

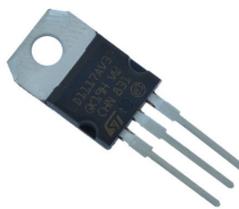
Figura 23 – Microcontrolador ATmega328p



Fonte: MICROCHIP.

O próximo componente a ser definido foi o regulador de tensão. Esse circuito serve para adaptar o valor de tensão de uma fonte para um outro valor constante, e isso serve para adequar a fonte para as limitações de alimentação dos CIs utilizados. O regulador escolhido foi o LM1117, da Texas Instruments. Existem várias variações desse regulador, cada uma para as tensões de saída de 1,8 V, 2,5 V, 3,3 V, 5 V e para tensões ajustáveis. A corrente de saída máxima é de 800 mA, que é mais do que suficiente para alimentar o microcontrolador, o circuito lógico do driver, os CIs de comunicação e os sensores. A variação escolhida foi a de 3,3 V, por englobar as limitações de todos os componentes comentados anteriormente. Esse CI pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 – CI regulador de tensão LM1117

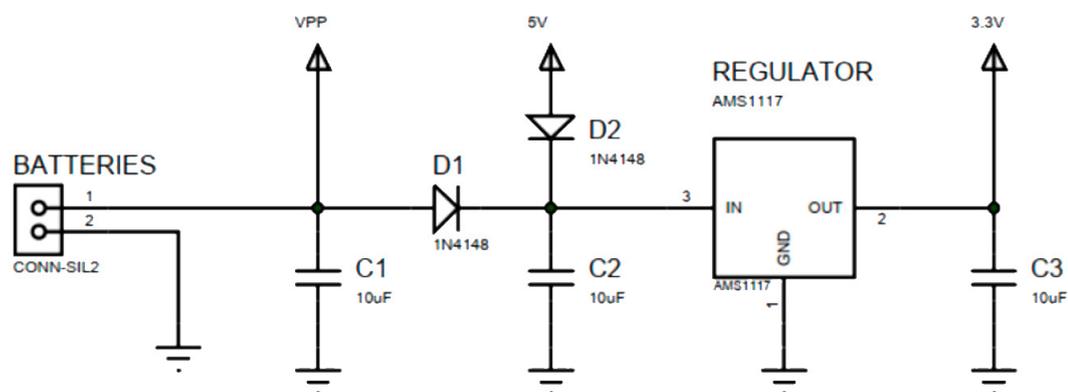


Fonte: MODERN DEVICE.

O circuito de alimentação projetado pode ser visto na Figura 25. Os diodos servem como proteção para a fonte, pois eles não permitem o fluxo de corrente em sentido reverso. Os capacitores servem para reduzir as flutuações de tensão da fonte, e o valor deles é 10 uF porque a constante de tempo formada por eles e pelas resistências em

série do diodo é muito maior que o período dos sinais de interferência do ambiente. O maior período possível desses sinais é de 16,66 ms, que é o do sinal da rede elétrica. Assim, uma constante de tempo acima de 166 ms já é considerada suficientemente alta para que o capacitor cumpra seu objetivo. Esse valor foi definido empiricamente. O nó VPP é a própria alimentação das baterias. O nó 5 V é o pino da alimentação fornecida pelo dispositivo serial que é utilizado para programar o microcontrolador. E o nó 3.3 V é a saída do regulador.

Figura 25 – Circuito de alimentação da placa

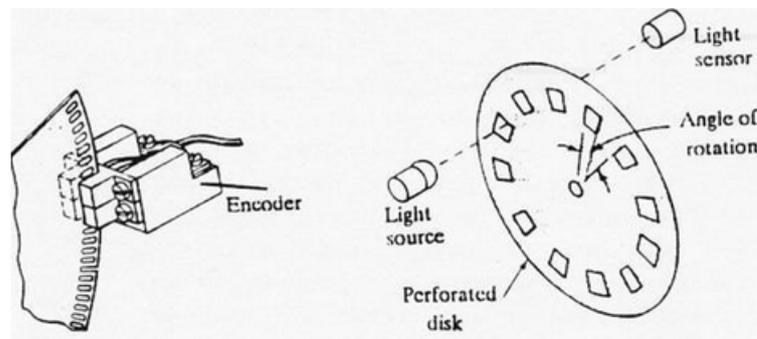


Fonte: Autoria própria.

Os próximos componentes escolhidos foram os sensores. No caso, foi definido um único tipo de sensor para o robô: o encoder. Encoders são sensores de posição ou de velocidade que podem ser lineares ou rotativos e funcionam por transdutores ópticos, magnéticos ou capacitivos (AGOSTINI, 2017). Eles funcionam ao se gerar pulsos sempre que uma estrutura passa por uma posição (DYNAPAR ENCODERS, 2019). Por exemplo, no caso de um encoder magnético, sempre que uma estrutura metálica passa pelo transdutor magnético ela causa uma alteração nas linhas de fluxo que passam pelo transdutor e um circuito de condicionamento transforma essas alterações em pulsos. No caso do robô, o encoder utilizado foi do tipo óptico incremental rotativo. O princípio de funcionamento é de ser utilizado um disco com furos e uma fonte de luz ser posicionada em um lado do disco e um transdutor fotossensível ser posicionado do outro lado. Sempre que um furo passa pela fonte de luz ele permite que a luz chegue ao

transdutor do outro lado e um circuito de condicionamento gera um pulso. Quando uma região opaca passa pela fonte de luz ela não permite que a luz chegue ao transdutor. Ao se saber a posição exata dos furos e a quantidade de pulsos que foram gerados se pode calcular o deslocamento angular do disco (DYNAPAR ENCODERS, 2019). Esse funcionamento pode ser visto na Figura 26. Um encoder foi utilizado acoplado a cada roda do robô, para que fosse possível se medir a velocidade das rodas e, junto de um controlador digital, fosse possível controlar esse parâmetro.

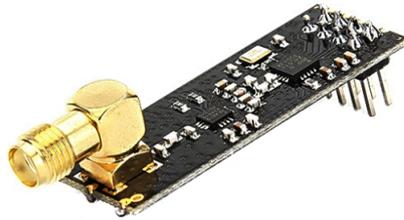
Figura 26 – Funcionamento de um encoder ótico



Fonte: SORBARA et al.

O circuito de condicionamento utilizado para os encoders é mostrado na Figura 27. Os LEDs infravermelhos estão ligados em série com resistores que servem para limitar a corrente. Os fototransistores possuem uma resistência equivalente variável e seus coletores estão ligados a resistores e seus emissores estão ligados ao terra para o circuito funcionar como um divisor de tensão variável. Quando a intensidade de luz sobre eles é maior, a resistência equivalente deles é menor, logo a queda de tensão sobre eles é menor. Esses valores de tensão são utilizados em circuitos comparadores para serem comparados com um valor de referência vindo de um sinal PWM do microcontrolador em conjunto com um filtro passa-baixas, de modo que se possa ajustar o ciclo de trabalho do sinal para que o resultado da comparação seja um sinal de nível lógico alto quando a luz atravessa um furo e nível lógico baixo quando a luz não chega ao fototransistor.

Figura 28 – CI NRF24L01 utilizado para comunicação em rádio-frequência utilizando o protocolo SPI

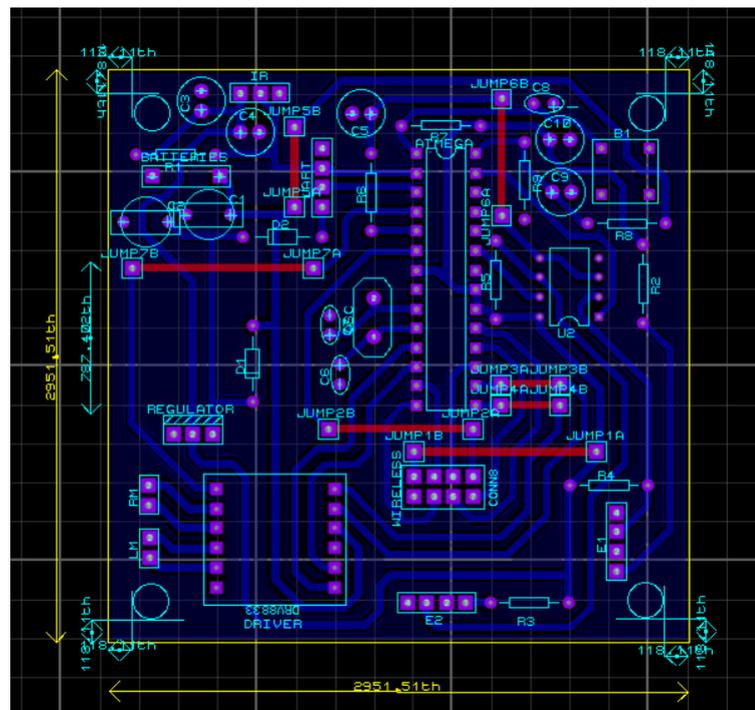


Fonte: FILIPEFLOP.

Além desses componentes, o circuito possuía resistores, capacitores, oscilador e botões, que serviam para o funcionamento dos circuitos já comentados. O esquemático completo do circuito projetado pode ser visto no Apêndice 1.

Finalmente, uma placa de circuito impressa foi projetada baseada nesse esquemático utilizando o software Proteus 8. A Figura 29 apresenta o projeto dessa placa.

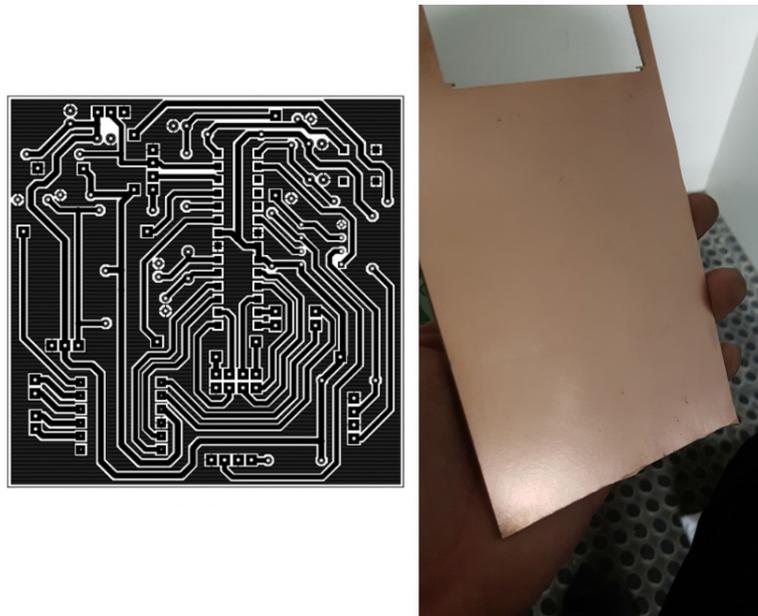
Figura 29 – Placa de circuito impresso projetada para o circuito do robô



Fonte: Autoria própria.

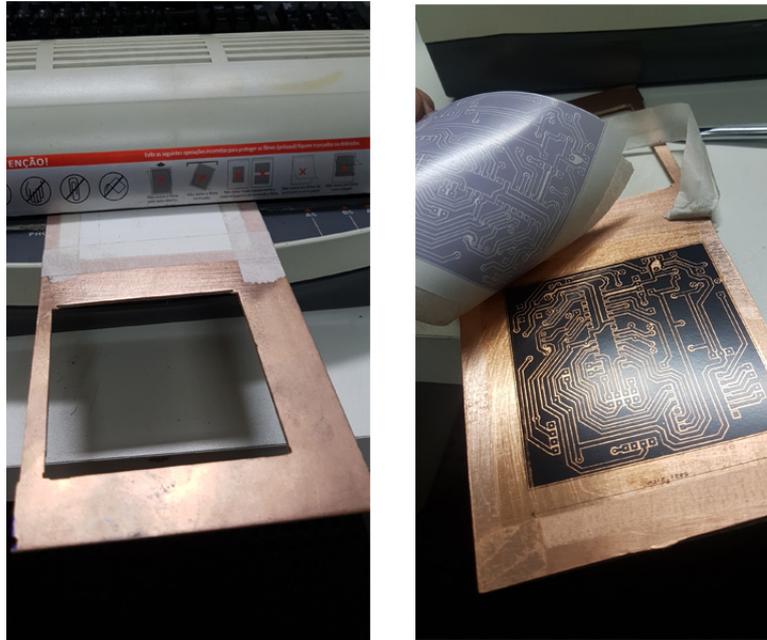
Depois de projetada, essa placa foi fabricada por um processo de corrosão de cobre em uma placa de fenolite. Isso foi feito ao se exportar a imagem com as trilhas para um arquivo pdf. Esse arquivo foi impresso por uma impressora a laser num papel de foto e essa imagem foi passada para uma placa de fenolite por aquecimento. A placa foi polida previamente com uma esponja de aço e a imagem foi presa por fita crepe nela com o lado da tinta colado no lado do cobre da placa e ela foi passada diversas vezes por uma máquina de plastificar documentos, por cerca de 15 minutos, até que a tinta fosse totalmente passada para a placa. Depois, foi utilizado ácido percloroeto para corroer as partes de cobre que a tinta não cobriu. Esse processo demorou cerca de 2 horas, mas geralmente se leva em torno de 15 minutos. O que ocorreu foi que o ácido já tinha sido utilizado diversas vezes, por isso sua capacidade de corrosão foi reduzida. Depois que a placa foi corroída a tinta foi retirada e ela foi polida novamente com a esponja. No final, os terminais foram furados por um furador de placas e ela ficou pronta para receber os componentes. As Figuras 30, 31, 32 e 33 mostram as etapas desse processo.

Figura 30 – Desenho das trilhas e placa de fenolite utilizada



Fonte: Autoria própria.

Figura 31 – Desenho passado para a placa por aquecimento



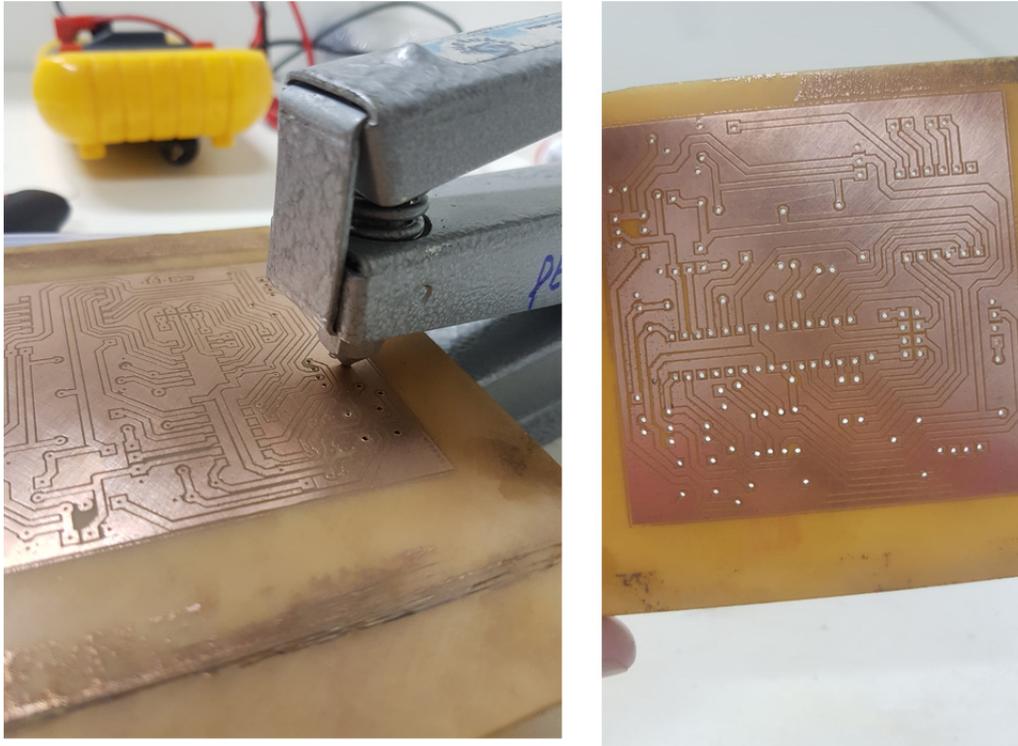
Fonte: Autoria própria.

Figura 32 – Processo de corrosão da placa por percloroeto e o resultado desse processo



Fonte: Autoria própria.

Figura 33 – Processo de furação e placa pronta



Fonte: Autoria própria.

Depois disso a última etapa era soldar os componentes, fazer a ligação dos motores na placa e acoplar ela à estrutura montada, porém isso não foi possível porque não havia componentes à disposição por não terem sido encontrados para compra imediata e o período do estágio já estava no fim.

3 CONCLUSÃO

O objetivo do estágio supervisionado é de aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso num ambiente prático. Para a realização das tarefas desenvolvidas foram requeridos conhecimentos em controle, mecânica, eletrônica e robótica para serem realizadas e sem esses conhecimentos não seria possível realizá-las. Esses conhecimentos foram adquiridos das disciplinas de Dispositivos Eletrônicos, Eletrônica, Teoria do Controle, Controle I, Mecânica dos Sólidos II, Microcontroladores e Microprocessadores, Sistemas de Aquisição de Dados e Interface, Instrumentação Eletrônica e Instrumentação Industrial.

As tarefas desenvolvidas no estágio consistiram no desenvolvimento de duas estruturas para auxiliar o manipulador robótico presente no LAC e no desenvolvimento de um robô móvel para servir como material de práticas nas disciplinas ministradas no LAC. As duas estruturas foram concebidas e foi mostrado que elas conseguem exercer a função para que foram projetadas. O robô móvel foi projetado, mas não foi montado, por falta de componentes disponíveis para a montagem.

Em resumo, o estágio serviu para mostrar que nem tudo que é visto no curso funciona da mesma forma na prática. Isso é importante para dar experiência ao aluno que pode servir de bagagem para problemas que poderão ser encontrados no mercado de trabalho ou no desenvolvimento de projetos.

4 REFERÊNCIAS

AIGNEP. GR01F - GARRA PNEUMÁTICA. **Aignep**. Disponível em: <<https://www.aignep.com/bra/Atuadores-Pneumaticos/Serie-GR01F/GARRA-PNEUMATICA>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

AGOSTINI, Nestor. Elementos de entrada e de saída em sistemas de automação. **SIBRATEC**, 2017. Disponível em: <<https://app.sibratec.ind.br/public/downloads/AUTOMACAO-INDUSTRIAL-PARTE5.pdf>>. Acesso em: 8 de mai. de 2019.

BUTTAY, Cyril. Structure of an H-bridge. **Wikipedia**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_H#/media/File:H_bridge.svg>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

COMAU. **Treinamento básico de robôs Comau**. 2014. Apresentação de slides.

DYNAPAR ENCODERS. Dynapar: encoders incrementais, absolutos e resolvers: como escolher a melhor opção?. **Dynapar**, 2019. Disponível em: <<https://www.dynaparencoders.com.br/blog/encoder-incremental-absoluto-resolver/>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

DX. 1A DRV8833 dual motor driver module full-bridge driver for Arduino. **DX**. Disponível em: <<https://www.dx.com/p/1a-drv8833-dual-motor-driver-module-full-bridge-driver-for-arduino-2076794#.XNQLmI5KiUk>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

FILIFELOP. Módulo wireless NRF24L01 transceiver com antena SMA. **Filipeflop**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-wireless-nrf24l01-transceiver-com-antena-sma/?gclid=EAlaIqobChMIrvb-v7qK4glVQkSGCh1dJgh9EAQYBCABEgKsOvD_BwE>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

LOJA DA ELÉTRICA. Motor dc 3 a 6v + roda e pneu. **Loja da Elétrica**. Disponível em: <<https://www.daeletrica.com.br/robotica/motores/motor-dc-3-a-6v-roda-e-pneu>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

METSHEIN, Mario. Arduino 2WD robot chassis. **GrabCAD community**. Disponível em: <<https://grabcad.com/library/arduino-2wd-robot-chassis-1>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

MICROCHIP. ATmega328. **Microchip**. Disponível em: <<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

MODERN DEVICE. LM1117 3.3V low dropout regulator. **Modern Device**. Disponível em: <<https://moderndevice.com/product/lm1117-3-3v-low-dropout-regulator/>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

REIS, Fábio dos. Como funciona uma ponte h – controle direcional de motores dc. **Bóson treinamentos em tecnologia**. Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/electronica/curso-de-electronica/como-funciona-uma-ponte-h-controle-direcional-de-motores-dc/>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

SIMPLÍCIO, Paulo Victor Galvão; LIMA, Beatriz Rêgo. Manipuladores Robóticos Industriais. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT**, v. 3, n. 3, p. 85, 2016.

SORBARA, Analu et al. Encoder simples com Arduino. **Polotto**. Disponível em: <<http://polotto.blogspot.com/2014/08/encoder-simples-com-arduino.html>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

STMICROELECTRONICS. VNH3SP30-E. **STMicroelectronics**. Disponível em: <<http://www.st.com/resource/en/datasheet/vnh3sp30-e.pdf>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

SUMARES, Gutavo. Pesquisadores criam 'peixe robô' para estudar vida marinha. **Olhar Digital**. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/noticia/pesquisadores-criam-peixe-robo-para-estudar-vida-marinha/74728>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

TEXAS INSTRUMENTS. DRV8833 dual h-bridge motor driver. **Texas Instruments**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8833.pdf>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

TEXAS INSTRUMENTS. LM1117 800-mA low-dropout linear regulator. **Texas Instruments**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

TOSHIBA. TB6612FNG. **Toshiba**. Disponível em: <<https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=10660&prodName=TB6612FNG>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

VECTORS AND GEOMETRY. 1.2. Coordenadas no plano e no espaço. **Vectors, analytical geometry and linear algebra**. Disponível em: <<http://vectorsandgeometry.wikidot.com/1-2-coordenadas-no-plano>>. Acesso em: 7 de mai. de 2019.

APÊNDICE 1 – ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO DO ROBÔ

