

CENTRO UNIVERSITÁRIO DAS AMÉRICAS - FAM
GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

THAINÃ JESUS DE SOUZA

Automação do Sistema de Ponte Basculante

São Paulo

2019

Thainã Jesus de Souza

Automação do Sistema de Ponte Basculante

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para obtenção do grau de
Tecnólogo em Automação Industrial, ao
Centro Universitário das Américas, sob a
orientação do Prof. Dr. André Luiz de
Oliveira.

São Paulo

2019

Sumário

1 Introdução.....	5
2 Objetivo Geral	7
2.1 Objetivo Específico.....	7
2.2 Justificativa	7
3 Revisão Bibliográfica	8
3.1 História das pontes.....	8
3.2 Ponte Basculante.....	10
3.3 <i>Tower Bridge</i>	11
4 Mecanismos	11
4.1 Servo motor.....	11
4.2 Sensores	13
4.3 Diodos Emissores de Luz (<i>LEDs</i>).....	15
4.4 <i>Buzzer</i>	16
4.5 <i>Arduino</i> ®	16
5 Metodologia.....	18
5.1 Descrição do protótipo.....	18
5.2 Materiais utilizados.....	18
6 Resultados e Discussões	20
6.1 Testes do protótipo.....	20
6.2 Funcionamento.....	24
6.3 Características dos componentes	25
8 Sugestões de Trabalhos Futuros	27
9 Publicações	27
Referências	28

Índice de ilustrações

Figura 1 – Ponte de elevação vertical	8
Figura 2 – Ponte giratória	9
Figura 3 – Ponte dobrável.....	9
Figura 4 – Forte Ponta da Bandeira	10
Figura 5 – <i>Tower Bridge</i>	11
Figura 6 – Partes de um Servo motor CC tipo RC	13
Figura 7 – Sensor infravermelho reflexivo de obstáculos	14
Figura 8 – Representação de <i>encoder</i>	15
Figura 9 – Representação de <i>LED</i>	15
Figura 10 – Representação de <i>buzzer</i>	16
Figura 11 – <i>Arduino</i> ® Mega 2560	17
Figura 12 – Etapas de execução	19
Figura 13 – Estrutura de madeira	20
Figura 14 – Teste dos componentes junto a placa e programa.....	21
Figura 15 – Junção da estrutura com sistema eletrônico	22
Figura 16 – Caixa de controle.....	23
Figura 17 – Protótipo finalizado apresentando abertura.....	23
Figura 18 – Fluxograma	25
Figura 19 – Esquema elétrico	26

Resumo

Este trabalho consiste apresentar a importância de automação no campo de transportes. Visando melhorar os fluxos terrestre e hidroviário que pode proporcionar benefícios em relação à agilidade, precisão e segurança, minimizando possíveis acidentes causados por falha humana. Para tal confeccionou-se um protótipo em escala reduzida para demonstrar sua operação.

Palavras chave: Automação; Transporte; Ponte móvel.

1 Introdução

Em meados do século V d.C., construíram-se pontes levadiças em castelos medievais na Europa, que evoluíram com o passar dos séculos. Na era medieval, sua principal finalidade se encontrava na defesa de fortalezas e castelos, edificados posteriormente a grandes muros que os separavam de abismos ou fossos que existiam como proteção, onde a ponte levadiça era o que controlava o fluxo de entrada e saída. Atualmente, são usadas para auxílio na travessia terrestre e hidrovia, onde ela permanece baixada para veículos terrestres e/ou pessoas e se eleva para passagem de embarcações náuticas. Embora sua finalidade tenha sido alterada, a física existente se mantém. (DRAWBRIDGES MECHANICS, 2013)

Nos dias atuais, há uma grande necessidade de atualização no campo dos transportes, este projeto visa apresentar a automação de uma edificação que auxilia tanto o tráfego de carros quanto de embarcações náuticas, trazendo assim benefícios tanto para o transporte de mercadorias como para redução no tempo de viagens.

A automação industrial torna-se cada vez mais indispensável no auxílio do trabalho humano, e proporciona diversos benefícios como, capacidade de monitorar ou controlar processos à distância, gerar maior precisão, melhorar a qualidade em processos de produção e prover uma maior segurança.

Segundo Lima et al. (2018, p. 36)

A automação é definida como a realização de tarefas sem a intervenção humana, com equipamentos que funcionam sozinhos e possuem a capacidade de controlar a si próprios, a partir de condições e/ou instruções preestabelecidas.

De acordo com Pessoa e Spinola (2014, p. 3), “O **controle automático** propicia meios para o desempenho otimizado de equipamentos, melhora da qualidade, redução de custos, aumento de produtividade e substituição de mão de obra.”.

Propõem-se neste trabalho, desenvolver um protótipo em escala reduzida, com a utilização de sensores, micro servos motores, *LEDs*, *buzzer* e a placa *Arduino®*, com programação desenvolvida em linguagem C++.

A escolha do tema deste Trabalho de Conclusão de Curso está internamente ligado ao curso de tecnologia em automação industrial, ao abranger principalmente as seguintes disciplinas: Programação Lógica e Sistemas Robóticos, Sistemas Automatizados e Projetos Mecânicos. Com relação à proposta de automatizar o sistema de ponte basculante refere-se a autonomia na operação e principalmente proporcionar segurança, pois a tendência é obter a redução no índice de acidentes causados por falha humana.

2 Objetivo Geral

Este projeto visa demonstrar a automatização da operação de uma ponte basculante ou levadiça, através dos conceitos de automação industrial.

2.1 Objetivo Específico

Demonstrar por meio de um protótipo a ratificação da automatização da ponte com ensaios praticados em um protótipo em escala reduzida.

2.2 Justificativa

Nos dias atuais a automatização de processos antes coordenados por mão de obra humana tem se tornado cada vez mais recorrente, e com isso tem havido diversas melhorias em relação à qualidade, tempo gasto para realização de tarefas, segurança, entre outras. Com a automatização das pontes acarreta-se um grande impacto positivo com relação ao tráfego de carros, por exemplo, com uma maior precisão de seus acionamentos como, sinalizações e levantamento de seus tabuleiros, ocorre-se grande redução de tempo entre a pausa para o levantar e abaixar da ponte e o reinício do tráfego, reduzindo-se proporcionalmente o trânsito intenso de carros.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 História das pontes

De certa forma pontes sempre existiram, pois o que quer que seja colocado em algum lugar que faça união entre dois lados, pode ser considerado ponte. As pontes iniciais surgiram de modo natural, por meio do caimento de troncos de árvores no meio de algum vão que poderia ser um rio, por exemplo, e desta forma possibilitar a passagem de uma margem para outra. A partir disto o homem aprimorou esses eventos naturais ocasionais e começou a elaborar pontes formadas por troncos, por pedras, cipós, cordas e entaves criados a partir de pedaços de madeira, para garantir que as pontes não caíssem com facilidade e desta forma era possível ir e voltar por ela. (COSTA, 2017)

Com o passar do tempo e surgimento de novos materiais e ferramentas o homem pôde aperfeiçoar ainda mais essas edificações, a partir daí criaram-se as pontes móveis. Existem diversos tipos de pontes moveis como:

Ponte de elevação vertical, como o próprio nome diz seu funcionamento consiste na elevação vertical de sua parte móvel.

Figura 1 – Ponte de elevação vertical



Fonte: (MINUBE, 2019)

Ponte giratória, onde sua parte móvel gira por meio de um eixo.

Figura 2 – Ponte giratória



Fonte: (THE WORLD GEOGRAPHY, 2013)

Ponte dobrável, onde possui sua parte móvel articulada de tal forma que quando acionada dobra-se formando a letra “N”. (THE WORLD GEOGRAPHY, 2013)

Figura 3 – Ponte dobrável



Fonte: (THE WORLD GEOGRAPHY, 2013)

Para objeto de estudo dentre os diversos tipos de pontes móveis escolheu-se a ponte basculante.

3.2 Ponte Basculante

Também conhecida como levadiça foram criadas em meados do século V d.C., com o principal intuito de defesa, pois com esse dispositivo era possível limitar o fluxo de pessoas que entravam nas cidades ou castelos e coincidentemente facilitar a travessia de lugares onde havia abismos ou rios. Atualmente as pontes são empregadas para integrar o tráfego de barcos ao de carros e pessoas. Esse tipo de ponte possui duas configurações, a de tabuleiro único em que toda a parte móvel se levanta para um lado somente, que era mais usada na era medieval. Atualmente, a mais usada é que possui tabuleiro duplo em que os dois lados são levantados. Seu funcionamento se dá através de um sistema de contrapeso puramente mecânico. (DRAWBRIDGES MECHANICS, 2013)

Figura 4 – Forte Ponta da Bandeira



Fonte: (GEORGE JANSOONE, 2019)

3.3 Tower Bridge

A ponte considerada uma das mais famosas do mundo é a *Tower Bridge* que constitui-se de ponte basculante operando em conjunto com uma ponte suspensa. A configuração de sua parte móvel é do tipo tabuleiro duplo, possui duas torres que são ligadas por duas passarelas, localizadas acima do rio Tâmesa em Londres. Construída entre 1886 a 1894, em alvenaria de pedra e aço revestido em granito, seu funcionamento se fazia através de um sistema com motores a vapor e atualmente conta com um sistema eletro-hidráulico. Quando os dois lados são erguidos obtém-se um ângulo de 86° . Peso limite suportado é 18 toneladas distribuídos em 244 metros de comprimento, 42 metros de altura e 61 metros de largura. (BRIDGESDB, 2019)

Figura 5 – *Tower Bridge*



Fonte: (STEVE VIDLER / ALAMY, 2019)

4 Mecanismos

4.1 Servo motor

O servo motor consiste em um dispositivo que se diferencia dos motores convencionais, tanto de corrente contínua (CC) quanto corrente alternada (CA), por possuir incorporado em sua estrutura um controlador e um sensor de velocidade (*encoder*).

Consiste em um atuador linear ou rotativo que assegura a velocidade, controle e precisão em aplicações de controle de posição em uma malha fechada. (SILVEIRA, 2017)

Segundo Silveira (2017) “O servo motor trabalha com servo-mecanismo que usa o *feedback* de posição para controlar a velocidade e a posição final do motor.”

Em seu interior existe uma combinação entre um motor, um circuito de retroalimentação, um controlador entre outros circuitos complementares.

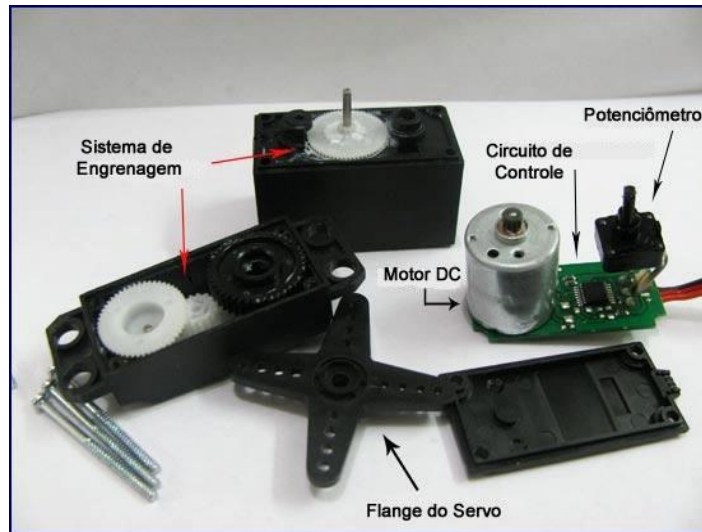
Faz uso de um *encoder* ou codificador para realizar a função de fornecimento do *feedback* de posição e velocidade.

O servo motor pode ser classificado em corrente contínua e corrente alternada, e sua aplicação irá depender do abastecimento de energia necessário para sua operação. O servo motor de corrente contínua é constituído por imã permanente com escova, geralmente aplicado em projetos de pequeno porte por causa de sua simplicidade, eficiência e custo. E o de corrente alternada é mais empregado frequentemente na indústria tolerar aplicações que necessitam de maior potência, propiciar elevada exatidão em seu controle e manutenção baixíssima.

O servo motor de corrente contínua é composto por um pequeno motor CC, um conjunto de engrenagens, um potenciômetro de retroalimentação e por um circuito eletrônico do acionamento e *loop* de controle. (SILVEIRA, 2017)

Dentre os servos motores de corrente continua existe o RC (*Radio Control*) que será usado neste trabalho que possui a seguinte configuração como mostra a figura.

Figura 6 – Partes de um Servo motor CC tipo RC



Fonte: (CITISYSTEMS, 2017)

4.2 Sensores

Sensores são dispositivos que tem por finalidade realizar detecção e fornecer resposta a algum estímulo e fazer a transmissão de um impulso. Existe uma variedade muito grande de sensores e diversos tipos de estímulos que podem ativá-los como: pressão, luz, calor, movimento entre outros. (MUNDO DA ELÉTRICA, 2019)

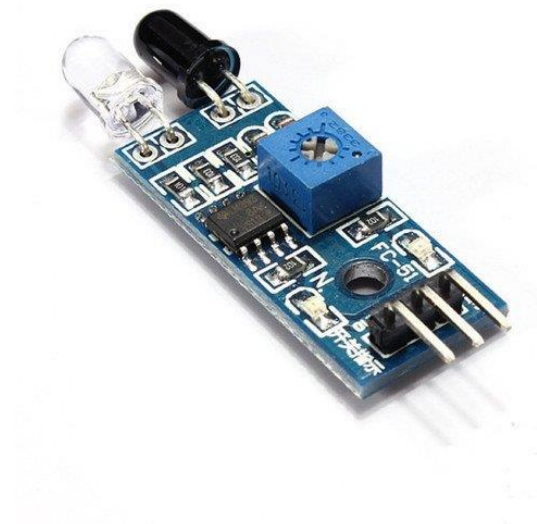
Sensor Infravermelho

Usou-se neste projeto um sensor infravermelho, que funciona da seguinte forma, existem dois *LEDs*, um emissor IR e um receptor IR que estão posicionados paralelamente, quando há travessia de algum objeto dentro da faixa de detecção o sensor é ativado apresentando uma saída em nível lógico baixo, ativando um *LED* de indicação mostrando que algo adentrou a faixa, possui também um potenciômetro por onde se faz possível ajustar a sensibilidade de detecção do sensor.

Características

- Controlador: LM393
- Tensão de operação: 3,3 a 5VDC
- Distância de detecção: 2cm até 30cm
- Ângulo de detecção: 35°
- Saída Digital e Analógica
- *LED* indicador de sensor ativado
- *LED* indicador de tensão no sensor
- Sensibilidade ajustável através de potenciômetro. (OLIVEIRA, 2019)

Figura 7 – Sensor infravermelho reflexivo de obstáculos

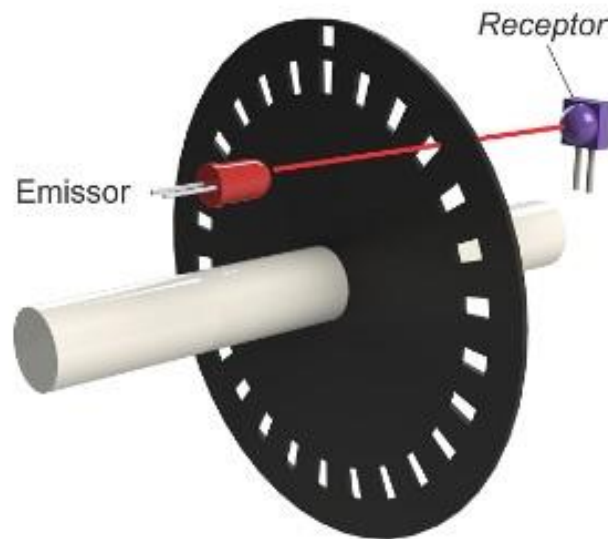


Fonte: (ELETROGATE, 2019)

Encoder

Encoders são sensores eletromecânicos que são responsáveis por converter posição em sinal digital, ele possibilita controlar distâncias, medir ângulos, número de rotação entre outros. É formado por um disco com marcações, um componente emissor e um receptor. (ALMEIDA, 2017)

Figura 8 – Representação de *encoder*



Fonte: (ALMEIDA, 2017)

4.3 Diodos Emissores de Luz (*LEDs*)

Segundo Wirth (2013), “Os *LEDs* [...] são diodos de junção especificamente construídos para emitir radiações na banda visível do espectro de frequências quando polarizados de maneira direta.”

Figura 9 – Representação de *LED*



Fonte: (MUNDO DA ELÉTRICA, 2019)

4.4 Buzzer

Conforme Correa (2015), “*Buzzer* é um componente eletrônico que é composto por 2 camadas de Metal e uma terceira camada interna de cristal Piezoelétrico, este componente recebe uma fonte de energia e através dela emite uma frequência sonora.”

Figura 10 – Representação de *buzzer*



Fonte: (BANGGOOD, 2019)

4.5 Arduino®

Segundo o site oficial do Arduino® (2019), “O Arduino® é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em *hardware* e *software* fáceis de usar.”

O Arduino® consiste em uma plataforma e também diversos modelos de placas que fazem uso de microcontroladores, para realizar diversas funções.

Os modelos de placas Arduino® mais comumente usadas são Arduino® Uno e Arduino® Mega. O modelo escolhido para realização deste projeto foi o Arduino® Mega 2560.

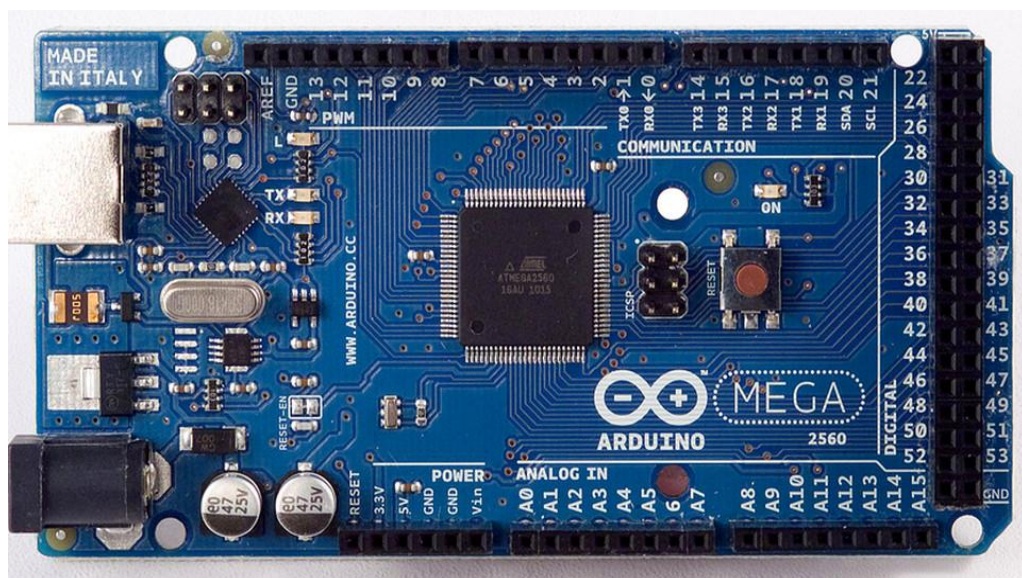
Arduino® Mega 2560

O Arduino® Mega 2560 é uma placa da plataforma Arduino® que faz uso do microcontrolador ATmega 2560, que possui uma maior quantidade de memória, maior número de pinos e funções, em relação ao Arduino® Uno, apesar dessas diferenças possuem o mesmo processador e clock. (MURTA, 2018)

Características *Arduino®* Mega 2560

- Microcontrolador ATmega2560
- Tensão operacional de 5V
- Tensão de entrada recomendada 7-12V
- Tensão de entrada limite 6-20V
- 54 pinos digitais I/O (15 são PWM)
- 16 pinos analógicos
- Corrente DC por pino I/O 20mA
- Corrente DC para 3,3V 50mA
- Processador RISC com até 16 MIPS
- 256 KBytes de memória Flash
- 8 KBytes de memória estática SRAM
- 4 KBytes de memória não-volátil EEPROM
- 2 Timers/Contadores de 8 bits
- 2 Timers/Contadores de 16 bits
- 1 Contador Real Time
- 1 Conversor ADC de 10 bits com 16 canais (ARDUINO®, 2019)

Figura 11 – *Arduino®* Mega 2560



Fonte: (LOPEZ, 2016)

5 Metodologia

A metodologia adotada para este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica sobre as pontes levadiças. Desta forma identificam-se os principais problemas de operação deste tipo de ponte. Pesquisam-se também os sensores e atuadores que empregam-se em uma eventual automatização da ponte. Por fim, desenvolve-se um protótipo em escala reduzida, com operação similar a de uma ponte real, com o intuito de validar a proposta deste trabalho.

5.1 Descrição do protótipo

Para a confecção da estrutura do protótipo escolheu-se madeira, por se tratar de um material de fácil manipulação, para este em específico escolheu-se *pinus* para a parte móvel e tabeira *saligna* para a parte fixa. A movimentação das partes móveis da ponte e cancelas se dará por meio do uso de servos motores. Os sensores figuram como principais componentes deste protótipo, pois através deles executa-se a detecção: da chegada ou saída de alguma embarcação, do controle da sinalização e o controle de subida ou descida dos tabuleiros da ponte. Para a sinalização utilizam-se diodos emissores de luz (*LED's*), *buzzer* e cancelas. Para controle dos dispositivos mencionados acima utiliza-se a plataforma de desenvolvimento *Arduino* e linguagem C++.

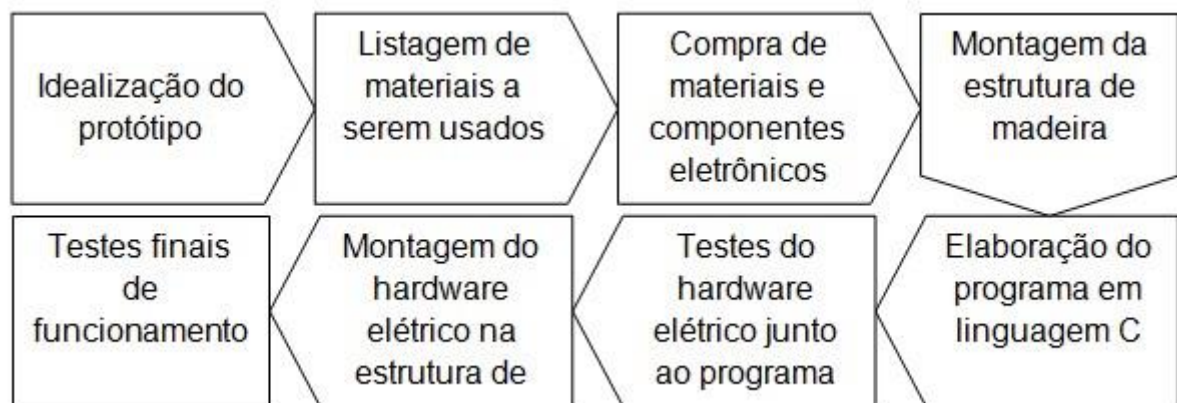
Para a hidrovia funcionar em dois sentidos, criou-se uma lógica de programação para identificar se a embarcação sobe ou desce.

5.2 Materiais utilizados

- 1 Tábua *Pinus* 1m x 60cm x 1cm
- 4 Tábuas Tabeira *Saligna* 22,5cm x 12,5cm x 2cm
- 2 Tábuas *Pinus* 6,5cm x 12,5cm x 0,5cm
- 2 Sensores infravermelhos
- 4 Servos motores
- 2 Módulos de semáforo
- *Jumpers*
- *Protoboard* 400 pinos
- *Arduino®* Mega 2560

- Parafusos
- Dobradiças tipo piano
- Carretel de fio de cobre esmaltado 22 AWG
- Cola quente
- Suportes para servo motor
- Papel *contact* preto e estampado

Figura 12 – Etapas de execução



Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2019)

6 Resultados e Discussões

6.1 Testes do protótipo

Iniciou-se pela montagem da estrutura, onde testou-se principalmente a dobradiça que é responsável pela mobilidade dos tabuleiros da ponte. A base da ponte é constituída de madeiras, e cada lado da ponte comporta tiras de madeira com as seguintes medidas de 22,5 x 12,5 x 2cm, fixadas em uma tábua de 100cm x 60cm. A parte móvel da ponte tem as medidas de 6,5x12,5x0,5cm, acopladas a parte fixa (base) por meio de uma dobradiça interiça e cada dobradiça fixada com dois pares de parafusos.

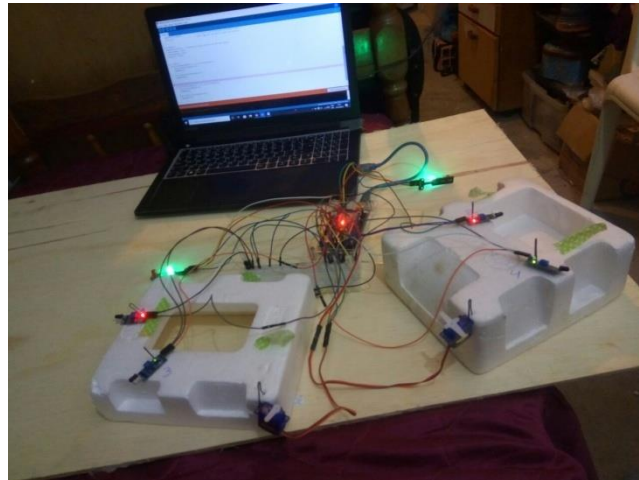
Figura 13 – Estrutura de madeira



Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2019)

Posteriormente, iniciaram-se os testes do *software* com o programa em linguagem C++ e *hardware* eletrônico. Criou-se um programa inicial no desenvolvedor do *Arduino*® em linguagem C++, para realizar o primeiro teste e para executá-lo conectaram-se todos os componentes na *protoboard* e nas portas do *Arduino*®, em seguida o programa foi transferido para a placa do *Arduino*® e os testes foram iniciados, como mostra a figura 14.

Figura 14 – Teste dos componentes junto a placa e programa



Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2019)

Após realizar os testes do *hardware* eletrônico separado, iniciaram-se os testes junto à estrutura de madeira, onde cada componente foi posicionado em sua respectiva posição final. Primeiramente, criou-se um poste para cada semáforo e passaram-se os condutores por dentro dele, e logo realizou-se o teste para ratificar seu funcionamento. Em seguida, também foram dimensionados postes para os sensores infravermelhos e após passar os condutores internamente realizaram-se os testes de funcionamento. Dando sequência aos testes, com o auxílio de suportes fixou-se os servos responsáveis por levantar e baixar os tabuleiros e os responsáveis pelas cancelas nas laterais da estrutura cada um em sua respectiva posição, como mostra a figura 15 e direcionou-se seus condutores por baixo dos tabuleiros da ponte, a partir disso realizaram-se os testes junto aos tabuleiros da ponte e testes das cancelas. Todos os condutores foram passados de forma subterrânea a estrutura, e direcionados a uma caixa de controle, onde se localiza a placa do *Arduino®* e *protoboard*.

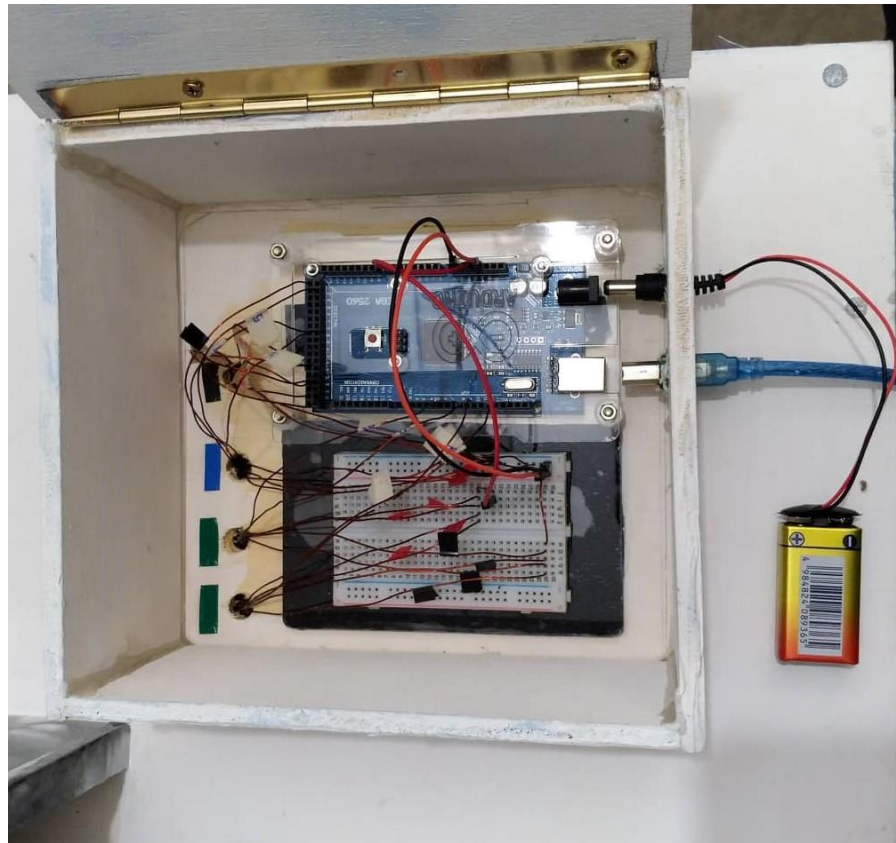
Figura 15 – Junção da estrutura com sistema eletrônico



Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2019)

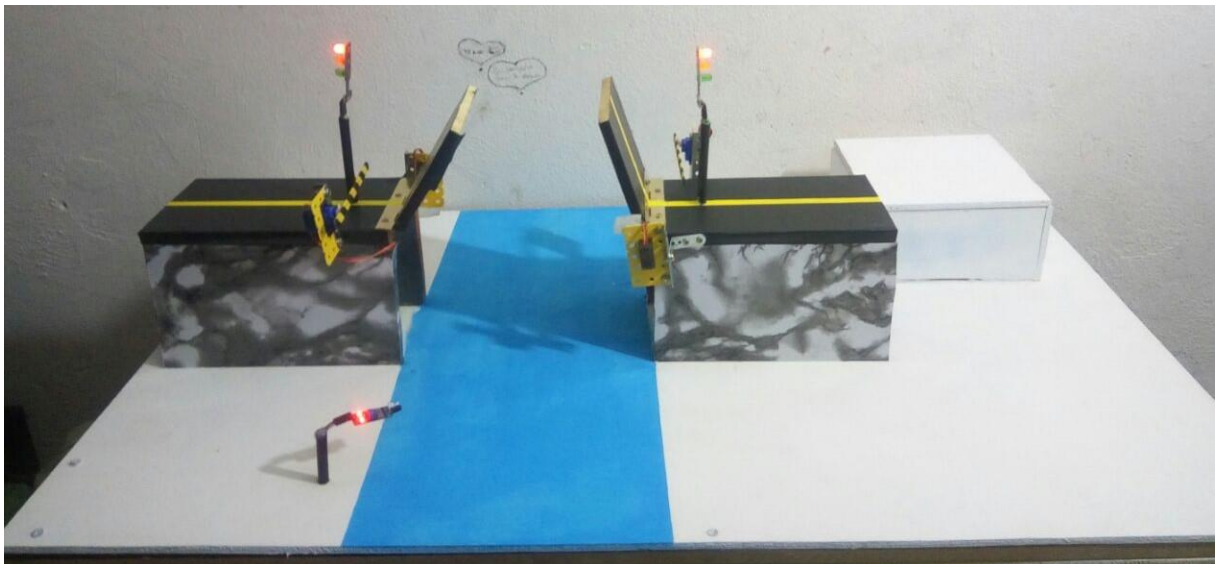
A caixa de controle está organizada da seguinte forma: existem 4 orifícios que estão identificados por cores, por onde chegam os condutores, no orifício com etiqueta preta estão os módulos de semáforo, no azul estão os sensores e *buzzer* e nos verdes estão os servos motores que estão separados em pares. Os condutores também estão identificados por cores, onde os com etiqueta branca são portas de controle, os com etiqueta vermelha são alimentação positiva e os com etiqueta preta são *GND*, como mostra a figura 16.

Figura 16 – Caixa de controle



Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2019)

Figura 17 – Protótipo finalizado apresentando abertura



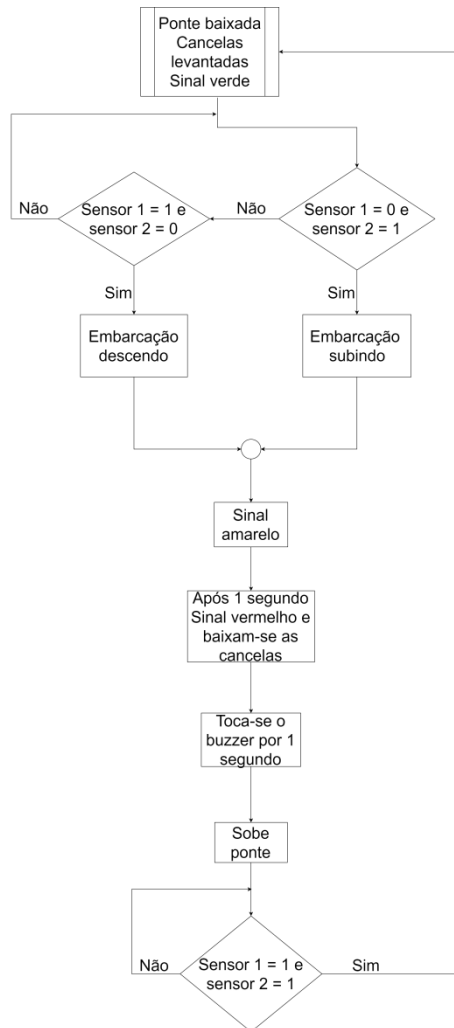
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2019)

6.2 Funcionamento

A programação final possui um sistema de intertravamento que possibilita que a ponte funcione em dois sentidos tanto se a embarcação estiver subindo quanto descendo. O intertravamento funciona da seguinte forma: Se o sensor 1 (sensor infravermelho 1) for acionado primeiro executará uma série de comandos e então quando o sensor 2 (sensor infravermelho 2) for acionado executará a regressão dos comandos para a rotina principal. Por causa do intertravamento o mesmo acontecerá se o sensor 2 for acionado primeiro.

Este programa contém três rotinas: Uma rotina principal e duas rotinas eletivas. Na rotina principal, os semáforos permanecerão verdes, cancelas levantadas e ponte baixada, a partir disso se sensor 1 ou sensor 2 for acionado (nível lógico 0) entrará em vigor a primeira rotina eletiva, que fará com que os semáforos comutem de sinal verde para amarelo, em seguida após 1 segundo comutam-se para vermelho, depois baixam-se as cancelas e toca-se um *buzzer* de aviso por 1 segundo posteriormente ergue-se a ponte; Enquanto algum dos sensores infravermelhos estiver acionado essa rotina permanecerá ativa; Quando a embarcação passar do segundo sensor e o *status* dos dois sensores se tornar 1 (nível lógico um), a segunda rotina eletiva entrará em ação e fará com que a ponte volte para a posição inicial, depois as cancelas subirão e o semáforo voltará à verde.

Figura 18 – Fluxograma

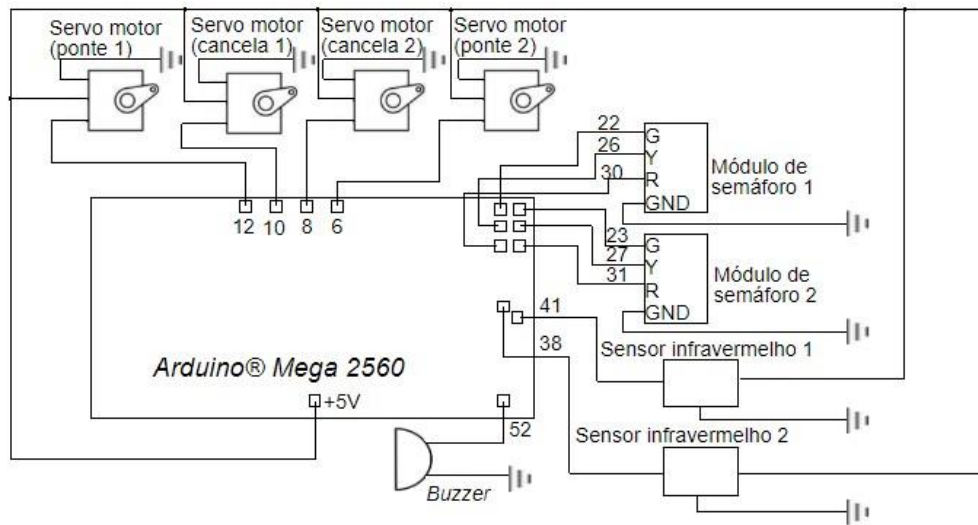


Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2019)

6.3 Características dos componentes

O sistema será alimentado por uma bateria de 9V de tensão, que será conectada ao *Arduino®*. Os sensores infravermelhos trabalham com uma tensão de 3,3V e funcionam da seguinte maneira: seu *status* desacionado é representado por nível lógico alto (nível lógico 1) e quando acionado torna-se nível lógico baixo (nível lógico 0). Os servos motores funcionam com 5V, neste projeto eles trabalham com os seguintes ângulos: 90° para cancelas levantadas e 0° para cancelas baixadas, já os para os tabuleiros da ponte 0° baixados e 65° levantados. Para sinalizações usaram-se módulos de semáforo e *buzzer*, ambos trabalham com 5V, porém são alimentados através das portas do *Arduino®*.

Figura 19 – Esquema elétrico



Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA 2019)

7 Conclusão

O protótipo em escala reduzida da ponte levadiça atingiu seu objetivo, mesmo encontradas dificuldades no desenvolvimento da programação e na construção de sua estrutura. Proveniente os testes realizados no protótipo apresentaram um movimento adequado e sem falhas.

Como todas as pontes, é indicado para lugares que necessitam fazer conexões terrestres e em contra partida possibilitar travessia hidroviária. No entanto, voltando para a indústria o conceito deste projeto poderia ser usado em um separador de peças.

Ao desenvolver este presente projeto foi possível por em prática conhecimentos adquiridos em sala, no qual procurou-se usar o máximo de informações passadas pelos professores.

8 Sugestões de Trabalhos Futuros

- Apresentar às embarcações um grande painel LCD que informa a distância da ponte em metros;
- Desenvolver o mesmo trabalho em outros dispositivos microcontroladores, em plataformas comerciais praticadas nas indústrias de equipamentos eletroeletrônicos;
- Incluir sensores acima da ponte para detectar se há veículos sobre as partes móveis.

9 Publicações

O trabalho foi publicado em formato de *banner* no evento Primeiro Congresso de Projetos Interdisciplinares do Centro Universitário das Américas.

SOUZA, T. J.; OLIVEIRA, A. L. **Automação do Sistema de Ponte Basculante.** Primeiro Congresso de Projetos Interdisciplinares do Centro Universitário das Américas. São Paulo, Outubro 2019.

Referências

ALMEIDA, Fernanda. **O que é encoder? Para que serve? Como escolher? Como interfacear?**, 2017. Disponível em: <https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-%C3%A9-encoder-para-que-serve-como-escolher-como-interfacear/>. Acesso em: 5 nov. 2019.

BRIDGE DB. **Facts and History of Tower Bridge in London**, c2019. Disponível em: <http://www.bridgesdb.com/bridge-list/tower-bridge//>. Acesso em: 19 ago. 2019.

COMPONENTS. **Active passive buzzer**: datasheet. 2017. Disponível em: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Buzzer%20Datasheet.pdf. Acesso em: 3 nov. 2019.

COMPONENTS. **Servo motor SG-90**: datasheet. 2017. Disponível em: <https://components101.com/servo-motor-basics-pinout-datasheet>. Acesso em: 3 nov. 2019.

CORREA, Gunna. **Beep usando buzzer com Arduino**, 2015. Disponível em: <https://www.satellasoftware.com/?materia=beep-usando-buzzer-com-arduino>. Acesso em: 10 nov. 2019.

COSTA, Helíude Vieira et al. **Construção da ponte de macarrão**. Caraúbas, RN: s.l., 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/35265638/UNIVERSIDADE_FEDERAL_RURAL_DO_SEMI-%C3%81RIDO_CAMPUS_CARA%C3%9ABAS_CURSO_BACHARELADO_EM_CI%C3%82NCIA_E_TECNOLOGIA_DISCIPLINA_MEC%C3%82NICA_GERAL_I_CONSTRU%C3%87%C3%83O_DA_PONTE_DE_MACARR%C3%83O_CARA%C3%9ABAS-RN_MAIO_DE_2017. Acesso em: 5 nov. 2019.

DRAWBRIDGES Mechanics. **History of the drawbridge**, 2013. Disponível em: <https://sites.google.com/site/drawbridgesmechanics/home/history-of-the-drawbridge>. Acesso em: 19 ago. 2019.

LIMA, Alexandro Wendel Borges de et al. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2018. 183 p.

MOTA, Allan. **O que é Arduino e como funciona?**, 2017. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-e-arduino-e-como-funciona/>. Acesso em: 3 nov. 2019.

MUNDO da elétrica. **O que é um LED?**. c2019. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-led/>. Acesso em: 5 nov. 2019.

MUNDO da elétrica. **O que são sensores e quais as suas aplicações?**, c2019. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-sensores-e-quais-as-suas-aplicacoes/> . Acesso em: 3 nov. 2019.

OLIVEIRA, Euler. **Como usar com Arduino:** módulo sensor infravermelho reflexivo de obstáculo KY-032, 2019. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-modulo-sensor-infravermelho-reflexivo-de-obstaculo-ky-032/>. Acesso em: 7 nov. 2019.

PESSÔA, Marcelo Schneck de Paula; SPINOLA, Mauro de Mesquita. **Introdução à automação:** para cursos de engenharia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Servo Motor:** veja como funciona e quais os tipos. 2017. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/servo-motor/>. Acesso em: 3 out. 2019.

THE WORLD geography. **10 Spectacular movable bridges**, 2013. Disponível em: <http://www.theworldgeography.com/2013/09/movable-bridges.html> . Acesso em: 5 nov. 2019.

TOWER Bridge. **Bridge History**, c2019. Disponível em: <https://www.towerbridge.org.uk/bridge-history/>. Acesso em: 18 ago. 2019.

UNIVERSITY of Bristol. **Tower Bridge**, c2019. Disponível em: <https://www.bristol.ac.uk/civilengineering/bridges/Pages/NotableBridges/TowerBridge.html>. Acesso em: 18 ago. 2019.

WIRTH, Almir. **Eletricidade & Eletrônica:** básica. 4. ed. rev. Rio de Janeiro: Alta Books, 2013.