

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

HEBER DE CARVALHO KAISER  
MAYARA FERNANDA GIMENES DE SOUZA

**POSICIONADOR DE ALVO PARA ESTANDE DE TIRO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2018

HEBER DE CARVALHO KAISER  
MAYARA FERNANDA GIMENES DE SOUZA

## **POSICIONADOR DE ALVO PARA ESTANDE DE TIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Eletrônica do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletrônico.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Fabiana Pöttker

CURITIBA  
2018

HEBER DE CARVALHO KAISER  
MAYARA FERNANDA GIMENES DE SOUZA

## **POSICIONADOR DE ALVO PARA ESTANDE DE TIRO.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletrônico, do curso de Engenharia Eletrônica do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN) outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Curitiba, 06 de fevereiro de 2018.

---

Prof. Dr. Robinson Vida Noronha  
Coordenador de Curso  
Engenharia Eletrônica

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Caroline Rasesa  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Eletrônica do DAELN

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Pötter  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Caroline Rasesa  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Dr. Paulo Roberto Brero de Campos  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a nossa orientadora Prof<sup>a</sup>. Dra. Fabiana Pöttker, pela sabedoria com que nos guiou nesta trajetória.

Aos nossos colegas de sala.

A Secretaria do Curso, juntamente com o orientador do curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o nosso reconhecimento à nossa família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

KAISER, Heber. SOUZA, Mayara. **Posicionador de alvo para estande de tiro.** 2018. 38 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Eletrônica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Neste trabalho foi desenvolvido um posicionador de alvo para estande de tiro para melhorar a precisão comparado com sistemas atualmente disponíveis no mercado interno. Para tal foi utilizado um motor CC de baixa potência controlado eletronicamente com comandos enviados por celular. Embora haja um pequeno erro de precisão, este não é significativo em virtude das distâncias aplicadas em estandes de tiro no país.

**Palavras-chave:** Tiro esportivo. Microcontroladores. Android. Sistema de controle.

## ABSTRACT

KAISER, Heber. SOUZA, Mayara. **Shooting range target positioner**. 2018. 38 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Eletrônica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

In this work we developed a target positioner for firing range to improve accuracy compared to systems currently available in Brazil. For this we used a low power electronically controlled DC motor driven by a cell phone. Although there is a small precision error, it is not significant because of the distances applied in shooting ranges in the country.

**Keywords:** Shooting sport. Microcontrollers. Android. Control system.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - TIPOS DE ARMAS. ....	14
FIGURA 2 - MODALIDADE – TIRO COM PISTOLA .....	14
FIGURA 3.- MODALIDADE – TIRO COM CARABINA.....	15
FIGURA 4 - SISTEMA DE ACIONAMENTO E CAPTURA DA RESPOSTA AO DEGRAU DO MOTOR ELÉTRICO.....	16
FIGURA 5 - RESPOSTA AO DEGRAU DO MOTOR ELÉTRICO. ....	17
FIGURA 6 - VALOR DE ESTABILIZAÇÃO NA SAÍDA DO ACIONADO. ....	18
FIGURA 7 - LINHA DELIMITANDO VALOR DE TENSÃO PARA 0,632.VF.....	19
FIGURA 8 - TEMPO PARA 0,632.VF.....	19
FIGURA 9 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA.....	21
FIGURA 10.- CURVA DE RESPOSTA AO DEGRAU .....	22
FIGURA 11 - CIRCUITO ESQUEMÁTICO DE ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA.....	24
FIGURA 12 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DE ALIMENTAÇÃO DO MOTOR POR PONTE H.....	24
FIGURA 13 - COMPORTAMENTO DO FILTRO LC DE ACIONAMENTO DO MOTOR .....	27
FIGURA 14 - CIRCUITO ESQUEMÁTICO DE ACIONAMENTO DO MOTOR.....	27
FIGURA 15 - ESQUEMA DE POSICIONAMENTO DOS SENSORES REFLEXIVOS .....	29
FIGURA 16 - MOTOR DE ACIONAMENTO DO SISTEMA .....	30
FIGURA 17 - ROLDANA DE FIM DE TRILHO E SENSOR REFLEXIVO.....	30
FIGURA 18 - PLACAS DE CONTROLE E ALIMENTAÇÃO.....	31
FIGURA 19 – SIMULAÇÃO COM CONTROLADORES P E PI .....	32
FIGURA 20 – ERRO PERCENTUAL DAS DISTÂNCIAS SOLICITADAS .....	33
FIGURA 21 - FLUXOGRAMA DAS TAREFAS DO PROGRAMA DA PLACA DE CONTROLE .....	35
FIGURA 22 - TELA INICIAL DO PROGRAMA DO CELULAR.....	36
FIGURA 23 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA DO CELULAR .....	37

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS**

BT - Bluetooth

bps - bits por segundo

PWM - Pulse Width Modulation

TI - Texas Instruments

TI-RTOS - Real-time operating system for TI microcontrollers

C.I. - Circuito Integrado

UART - Universal asynchronous receiver-transmitter

USB - Universal Serial Bus



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	METODOLOGIA.....	10
1.2	JUSTIFICATIVA .....	12
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE CONTROLE .....</b>	<b>13</b>
2.1	HISTÓRICO.....	13
2.2	ASPECTOS GERAIS .....	15
<b>3</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DO ATUADOR.....</b>	<b>16</b>
3.1	OBTENÇÃO DO MODELO DISCRETIZADO A PARTIR DO MODELO CONTÍNUO .....	21
<b>4</b>	<b>CONFIGURAÇÃO DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO .....</b>	<b>22</b>
4.1	ALIMENTAÇÃO AC E RETIFICAÇÃO .....	23
4.2	ALIMENTAÇÃO DO MOTOR.....	24
4.3	A SOLUÇÃO CLÁSSICA PARA ACIONAMENTO DE MOTORES CC COM INVERSÃO DE GIRO .....	25
4.4	CIRCUITO INTEGRADO PARA ACIONAMENTO DO MOTOR.....	25
4.5	USO DE FILTRO LC PARA ACIONAMENTO DO MOTOR.....	26
<b>5</b>	<b>SISTEMA DE LEITURA DO COMPRIMENTO DO TRILHO E POSICIONAMENTO DO ALVO .....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>MONTAGEM FINAL DO CONJUNTO.....</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>DIFERENÇA ENTRE A POSIÇÃO SOLICITADA E O PONTO DE PARADA .....</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>COMUNICAÇÃO ENTRE CELULAR E PLACA DE CONTROLE (TIVA) .....</b>	<b>34</b>
<b>9</b>	<b>DETALHAMENTO DO PROGRAMA DA PLACA DE CONTROLE E CELULAR.....</b>	<b>34</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>38</b>
10.1	TRABALHOS FUTUROS .....	39
<b>11</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>40</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Com a popularização da eletrônica embarcada, sistemas computadorizados estão sendo cada vez mais incorporados a diversos tipos de produtos (utensílios domésticos, brinquedos e etc) tendo diferentes objetivos em função das finalidades e necessidades de cada pessoa, muitas vezes constituindo em um sistema invisível ao operador.

Um dos objetivos da implantação desses sistemas eletrônicos é otimizar e possibilitar processos técnicos realizados pelo próprio sistema, como realizar o controle retroalimentado de um motor microcontrolado.

Ultimamente o tiro esportivo vem crescendo como lazer e como esporte dentro do Brasil. O treino de tiro para policiais e pessoas envolvidas com segurança vem também crescendo constantemente. A modalidade de tiro esportivo implica ao competidor provar o poder de concentração e manejo de uma arma de fogo ou ar comprimido. A princípio, essa modalidade surgiu como forma de treinamento para jovens inexperientes com o manuseio de armas para caça na antiga Grã-Bretanha e desde muito tempo o tiro ao alvo é considerado um esporte.

A fim de introduzir modularidade, diminuir os custos e facilitar o uso, este projeto utilizou subsistemas e programas, trazendo simplicidade de manuseio tanto na montagem quanto na aplicação em estandes de tiro.

Um cenário de teste é extremamente interessante para este tipo de análise. Desta forma, montamos um sistema inteiro de correias para testar nosso projeto de forma funcional e segura.

## 1.1 METODOLOGIA

Para este projeto, o sistema foi dividido em três subsistemas, a saber: subsistema de troca de dados, subsistema de acionamento e controle do motor de posição, e subsistema mecânico de transporte do alvo.

O primeiro subsistema consiste de um aplicativo para celulares do tipo smartphone. Nele, o usuário determina qual a distância desejada entre ele e o alvo, e envia estes dados para a placa de controle, via Bluetooth (BT). Portanto, serão necessários o pareamento entre celular e a placa de controle do motor referente à

pista que o usuário ocupará durante sua prática esportiva. Cada pista terá uma placa de controle, com dispositivo BT para recepção de dados do celular. O dispositivo BT poderá (a critério do cliente - clube de tiro, academias policiais e afins) ter senha para que apenas o usuário da pista em questão tenha controle sobre o posicionador. Os dados a serem enviados do celular para a placa de controle serão a distância (com resolução de 0,1 metro, com valor decimal separado por ponto flutuante) e comandos singulares manuais.

Também será informado ao usuário qual foi o último comando enviado para a placa de controle. A placa de controle envia dados para o celular do usuário, com a posição atual. A interface para comunicação entre o dispositivo BT de recepção de dados da placa e a placa em si será via protocolo serial, pois o microcontrolador em uso tem suporte a este recurso.

O subsistema de acionamento e controle do motor será composto por uma placa de desenvolvimento baseada em um processador Cortex-M4 da Texas Instruments, um motor DC 12V com driver para acionamento conforme comando da placa de controle, e conjunto de roldanas e correias para transmissão de energia mecânica do motor para o carro de transporte que leva o alvo. A placa de controle definida para este projeto foi a Tiva EK-TM4C1294XL, porque permite a programação em linguagem de alto nível com uso de tarefas, operando como um sistema embarcado baseado num sistema operacional.

O sistema operacional utilizado será o TI-RTOS, disponibilizado pela própria Texas Instruments, com suporte para a placa em questão. O motor DC 12V foi escolhido devido simplicidade de acionamento com uso de drivers disponíveis comercialmente; tal deverá comutar conforme sentido de giro do motor, e para seu controle de velocidade será usado o controle por largura de pulso PWM (Pulse Width Modulation). A alimentação do motor virá de um retificador ligado à rede elétrica, que também suprirá a placa de controle.

Por fim, o subsistema mecânico de transporte de alvo é composto por um carro que se move sobre trilhos. Sua construção foi idealizada para ser leve, permitindo assim o uso de um motor DC de baixa potência. A transmissão de energia entre motor e carro se dará por uma correia atrelada ao carro, que passa por uma roldana presa ao eixo do motor. O objetivo deste projeto é ser uma solução

completa, abrangendo desde a parte de controle até o sistema de carregamento do alvo.

A justificativa para a escolha do modelo do motor é a facilidade de manutenção, comparado com outros sistemas encontrados em alguns estandes de tiro. Em um dos sistemas encontrados, o transporte de alvos é baseado em um motor trifásico de 0,16cv. Para mudar o sentido de giro de um motor trifásico, basta trocar duas fases entre si, mantendo a terceira fase sem troca. Com isto, é possível implementar um sistema onde o motor gira em ambos os sentidos. O problema é que o motor sempre parte em ligação direta com a rede, o que implica em uma corrente de partida elevada.

Com o tempo, as bobinas do motor desbalanceiam, o que acarreta em correntes diferentes em cada fase, quando deveria ser a mesma nas três. Além disto, no modelo proposto neste trabalho, o usuário não terá acesso direto ao acionamento do motor, pois o mesmo será efetuado através da interface disponibilizada pelo aplicativo, assegurando ao motor uma partida mais suave decorrente do uso de drivers e controle PWM para acionamento do sistema, controlado por uma placa dedicada.

O objetivo deste projeto é oferecer uma alternativa prática, de baixo custo e manutenção, com opção de customização pelo cliente, com vistas a praticidade do deslocamento de alvos, otimizando o exercício do tiro esportivo e de defesa pessoal.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Foram efetuadas pesquisas em vários estandes de tiro sobre os sistemas neles utilizados, para ter uma base de dados das aplicações em uso.

Em território nacional, foram abordados os clubes SK Clube de Tiro (<http://www.sksis.com.br/site/> - Curitiba/PR), Escola de Tiro .38 (<https://www.clube38.com.br/> - São José/SC) e clube Orion de tiro, localizado em Curitiba. O sistema de transporte de alvos informado pela Escola .38 utiliza um motor, com um botão para levar e trazer o alvo. Os mesmos não souberam informar qual tipo de motor usado para o transporte. No clube SK, foi reportado um sistema automatizado, com possibilidade de escolha da distância do atirador para o alvo. O Clube Piratininga de Tiro ([www.piratiningadetiro.org.br](http://www.piratiningadetiro.org.br) - Piratininga/SP) usa um

sistema que chamou bastante atenção, pois lança mão de cordas e manivela para posicionamento do alvo. O argumento dado pelo responsável por este mecanismo é a manutenção mais barata, pois não envolve motores, que podem queimar, necessitando a troca de tal. Além disto, caso ocorra algum problema, os próprios funcionários do estande são capazes de reparar a falha.

No âmbito internacional, foram encontrados sistemas similares aos encontrados no Brasil. Outros produtos mais complexos também são ofertados no exterior. O fabricante Shooting Range Industries ([www.shootingrangeindustries.com/](http://www.shootingrangeindustries.com/) - EUA) apresentou sistemas com computador central para controle de todas as pistas; este produto, segundo o desenvolvedor, atende às necessidades de treinamento de forças militares e policiais, onde há uso e instrução simultânea do estande.

No caso deste trabalho, a oferta já supera o disponível no mercado interno, pois o método de controle de posição em malha fechada não é aplicado nos outros produtos concorrentes, além do diferencial que é o envio de comando via aplicativo em celular.

## **2 SISTEMA DE CONTROLE**

O sistema de controle foi determinante para o funcionamento correto do nosso projeto, nesta seção abordamos os aspectos históricos, físicos e lógicos de como montamos nosso sistema de controle.

### **2.1 HISTÓRICO**

A modalidade de tiro esportivo implica ao competidor provar o poder de concentração e manejo de uma arma de fogo ou ar comprimido. A princípio, essa modalidade surgiu como forma de treinamento para jovens inexperientes com o manuseio de armas para caça na antiga Grã-Bretanha e desde muito tempo o tiro ao alvo é considerada um esporte ([brasil2016.gov.br](http://brasil2016.gov.br)).

A primeira associação oficial de tiro, a "National Rifle Association of the United Kingdom (NRA) ", foi fundada em 1860 na Grã-Bretanha para promover os tiros de rifle para caça ([home.nra.org](http://home.nra.org)). Somente em 1869 este esporte foi incluído

nas olimpíadas. Em 2004 foi incluído a prova com as três principais modalidades juntas (rifle, pistola e carabina). Abaixo há as características das armas utilizadas nas olimpíadas (brasil2016.org.br).



**Figura 1 - Tipos de armas.**  
**Fonte: Tiro Esportivo – Portal Brasil 2016**

Nas olimpíadas os atletas podem competir em até 15 provas, sendo separadas por modalidade masculina, feminina ou mista. As distâncias dos alvos dependem do tipo de arma a ser usada, essas distâncias oficiais serviram de base para a montagem do nosso protótipo de alvo. Nas figura 2 e 3 é possível observar as distâncias para cada tipo de arma utilizada.



**Figura 2 - Modalidade – Tiro com pistola**  
**Fonte: Tiro Esportivo – Portal Brasil 2016**



**Figura 3.- Modalidade – Tiro com carabina**  
**Fonte: Tiro Esportivo – Portal Brasil 2016**

No Brasil a história do tiro esportivo é mais recente, o tiro esportivo paraolímpico, por exemplo, surgiu somente em 1997 no centro de reabilitação da polícia militar do Rio de Janeiro, e fez a sua primeira aparição nos jogos em Pequim 2008 com o atleta Carlos Garlett. O tiro por simples lazer tem apresentado grande crescimento nos últimos anos ([brasil2016.org.br](http://brasil2016.org.br)).

## 2.2 ASPECTOS GERAIS

Um sistema de controle tem por objetivo reduzir o erro de atuação para uma determinada entrada, agindo de forma mais rápida possível. A esta entrada damos o nome de referência. O erro é a diferença entre a referência e a condição atual da planta controlada, indicada pela leitura de um sensor.

No caso deste trabalho, o sistema de controle é digital, ou seja, os sinais de entrada e saída são processados por um controlador digital. O sinal de entrada é baseado num contador de pulsos, cada um destes proporcional à distância percorrida. A saída da placa de controle é uma série de pulsos que acionam um inversor que alimenta o motor. Quanto mais tempo acionar o chaveamento em um determinado período, mais energia alimentará o motor.

### 3 DETERMINAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DO ATUADOR

O modelo matemático de um motor elétrico pode ser determinado por duas características: os polos elétrico e mecânico. (OGATA, 2010)

Quando se aplica uma corrente elétrica em um motor, o mesmo gira devido interação entre campos magnéticos gerados nas bobinas e do rotor e dos permanentes provenientes de ímãs no estator. Quando um motor gira, gera uma diferença de potencial em seus terminais. Esta dualidade está sempre presente em um motor elétrico, ou seja, ao mesmo tempo em que precisa de energia para girar, ele também gera uma energia elétrica. (OGATA, 2010)

O rotor é composto por bobinas, que devido seu aspecto construtivo, são também indutores. Portanto, reagem à variação de corrente elétrica em seus enrolamentos. Estas reações refletem na fonte de potencial que alimenta o motor.

Para o levantamento dos dados do motor, foi montado um sistema onde um motor foi alimentado por uma fonte de tensão regulada em 6 Vdc, chamado acionador. Um segundo motor de mesmas características foi usado como sensor, acoplado ao eixo do acionador; a saída do motor acionado foi considerada como resposta ao degrau no motor acionador. A ilustração abaixo mostra o esquema das ligações elétricas e montagem mecânica do sistema.

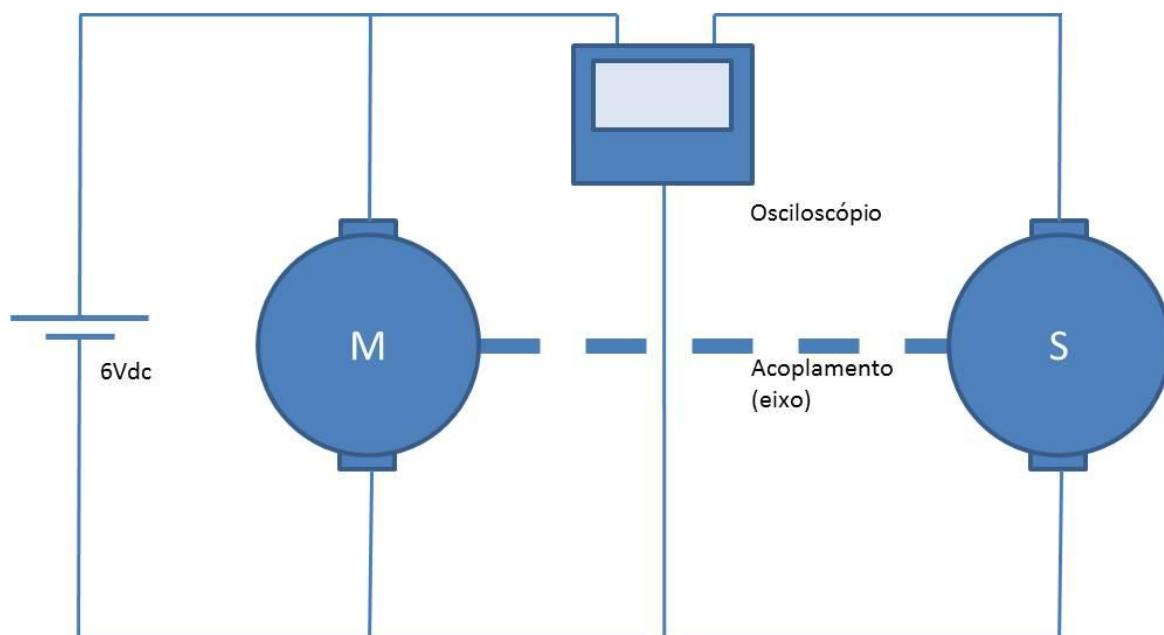
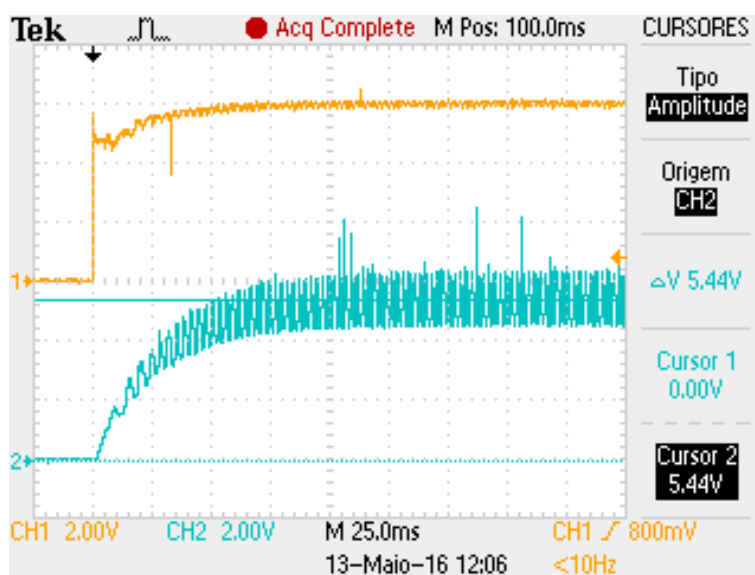


Figura 4 - Sistema de acionamento e captura da resposta ao degrau do motor elétrico  
Fonte: Autoria própria.



Na figura 5 a seguir, pode-se observar que, além das afirmações acima citadas por conta dos reflexos da energia gerada pelo motor na fonte de potencial, o polo elétrico de um motor é desprezível. Em outras palavras, o polo elétrico de um motor fica tão afastado da origem que pouco afeta na resposta ao impulso.



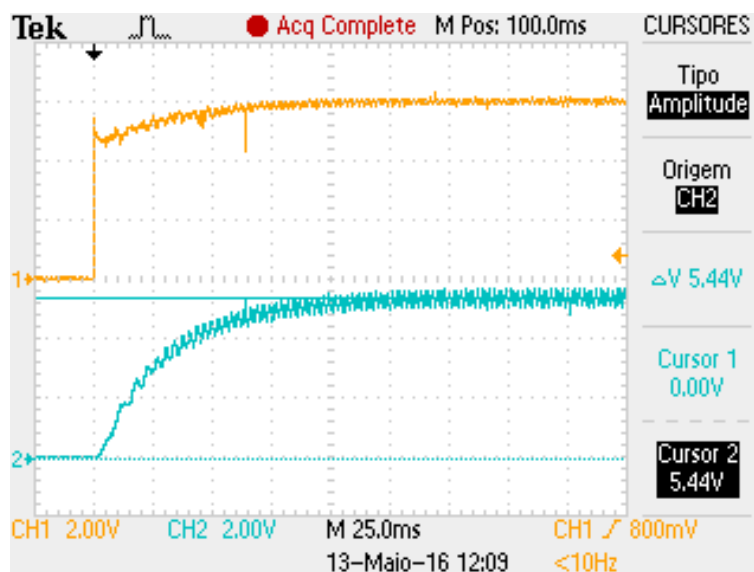
**Figura 5 - Resposta ao degrau do motor elétrico.**  
Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar nesta imagem que, o degrau aplicado na entrada do motor (linha superior) é afetado imediatamente pela influência do motor acionado. No instante da partida, a tensão da fonte cai por um breve momento, todavia se recupera bem antes da estabilização da tensão na saída do motor acionado, que estava acoplado ao eixo do motor. Numa fonte ideal, não haveria queda de tensão na partida do motor, mas como a corrente de partida do motor é substancial, a fonte apresenta um curto esmorecimento de sua capacidade.

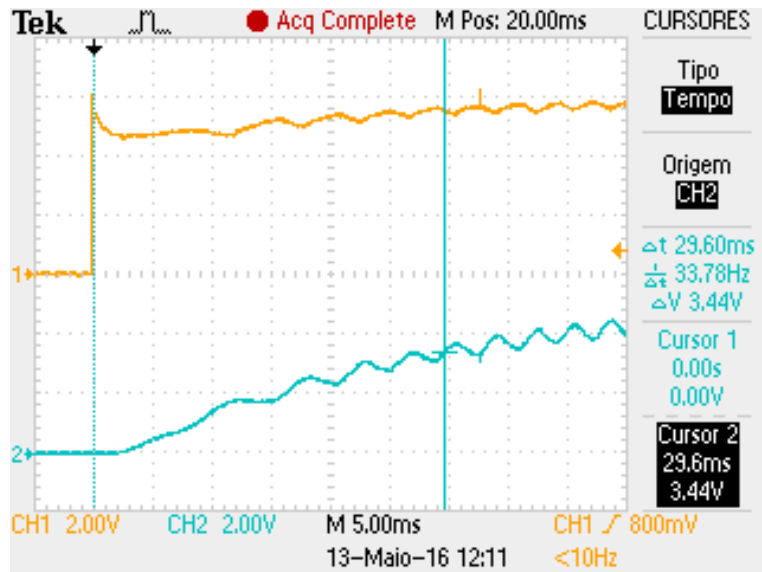
Quando se aplica uma tensão na entrada do motor acionador, leva-se um tempo para que acelere até que a rotação estabilize em um valor proporcional à energia aplicada em seus terminais. Por conta disto, é possível determinar seu polo mecânico, a partir do tempo entre partida do motor e aproximadamente 60% do seu giro em regime. Ao partir o acionador, o acionado entregava em seus terminais uma tensão que, em média, era ligeiramente inferior à que alimentava o acionador, porém com bastante ruído, como pode ser observado na figura 5. A oscilação apresentada

inviabiliza definir valores chaves, como valor final de tensão do motor em regime, e também quando a saída entrega 63,2% do valor final em seus terminais.

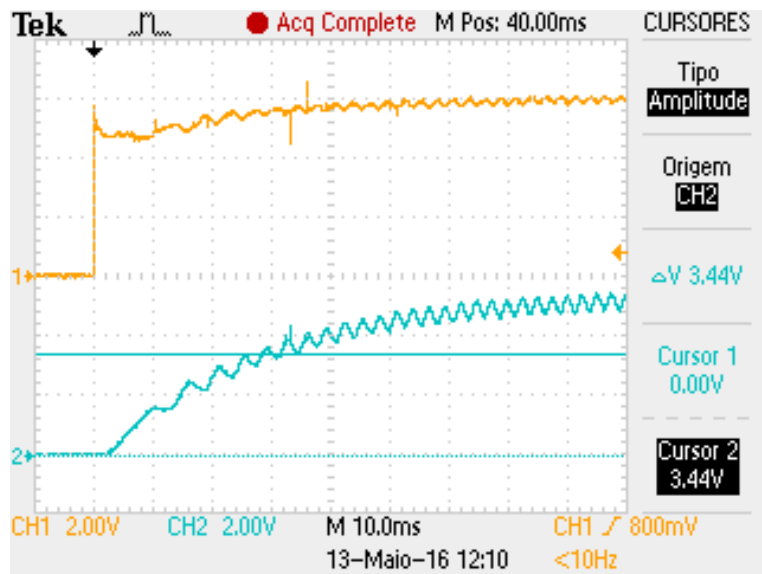
Para que uma leitura confiável pudesse ser realizada, foi montado na saída do acionado um filtro passa-baixas, para que os ruídos de alta frequência fossem filtrados. Este filtro foi idealizado como um filtro RC, onde sua constante de tempo fosse maior que o período das oscilações presentes, e que não afetasse a tensão de saída, ou seja, que a inclinação da rampa de subida da tensão gerada fosse a mesma do caso onde o sinal não era filtrado. Tendo por base que o tempo médio de estabilização do sinal sem filtro era de aproximadamente 125 ms, foi definido inicialmente um filtro com a constante de tempo de 20 ms. Após a inserção deste filtro no sistema, foi possível obter o valor final de tensão do motor. O filtro então teve sua constante de tempo alterada para 2,5 ms, visando filtrar apenas as componentes de frequência elevada. O resultado pode ser observado na figura 6. As figuras 7 e 8 apresentam as curvas que delimitam o valor de tensão para 0,623 Vf e o tempo para esse mesmo valor.



**Figura 6 - Valor de estabilização na saída do acionado.**  
**Fonte: Autoria própria**



**Figura 7 - Linha delimitando valor de tensão para 0,632.Vf**  
 Fonte: Autoria própria



**Figura 8 - Tempo para 0,632.Vf**  
 Fonte: Autoria própria

Para o levantamento desta curva, foi aplicado na entrada do acionador 6VDC. A saída do acionado em regime apresenta 5,44VDC. Portanto, quando a saída apresentasse aproximadamente 3,44VDC, o instante em que atingir este valor determinaria o tempo  $\tau$ ; o tempo obtido foi de aproximadamente 30 ms. De posse destes dados, o modelo matemático para o polo mecânico do motor foi definido como:

$$\frac{Y(s)}{C(s)} = \frac{k}{Ts + 1} \quad (2.1)$$

$$\frac{Y(s)}{C(s)} = \frac{k}{0,03s + 1} \quad (2.2)$$

$$\frac{Y(s)}{C(s)} = \frac{k}{s + 33} \quad (2.3)$$

A partir do Teorema do Valor Final, foi obtido o valor de k

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot Y(s) = 5,44 \quad (2.4)$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{k}{s + 33} \cdot C(s) = 5,44 \quad (2.5)$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{k}{s + 33} \cdot \frac{.6}{s} = 5,44 \quad (2.6)$$

$$k = 30 \quad (2.7)$$

Este modelo obtido aplica-se apenas ao motor. O resultado é afetado pelo fato de se ter uma carga acoplada ao eixo – medir é interferir. Pelo fato do sistema completo usar uma engrenagem redutora do tipo parafuso sem fim, além de outras peças como o carro de transporte do alvo, roldana e corda de aço para movimentação, todos estes componentes alteram significativamente o modelo matemático do produto final, que não pode ser resumido apenas ao do atuador. Ainda assim, é uma excelente aproximação para um ponto de início do projeto.

A função de transferência obtida trata da velocidade do motor. Para adequar esta função à demanda de posição, temos que integrar a velocidade, resultando então no deslocamento (da Física clássica, temos  $x(t) = \int v(t) \cdot dt$ ). Por este motivo, foi adicionado um integrador, de forma que a nova função de transferência é a seguinte:

$$G(s) = \frac{30}{s \cdot (s + 33)} \quad (2.8)$$

### 3.1 OBTENÇÃO DO MODELO DISCRETIZADO A PARTIR DO MODELO CONTÍNUO

O modelo matemático levantado anteriormente mostra o comportamento do motor elétrico conforme excitação na sua alimentação. Porém, é necessário transportar este comportamento, que passa a ser tratado como uma planta para o domínio discreto presente em controladores digitais.

Para tal tarefa, foi utilizado o programa MatLab, onde foi inserida a equação característica da planta, e tendo definido um período de amostragem de 100 ms, com um segurador de valor de ordem zero. A seguinte equação discreta foi retornada:

$$Gd(z) = \frac{0,0064z + 0,0023}{z^2 - 1,037z + 0,037} \quad (2.9)$$

O período de amostragem foi definido a partir da frequência de execução da tarefa de leitura do estado da planta pela placa de controle, mantendo a linearidade do sistema. A figura 9 mostra o diagrama de blocos do sistema projetado no MatLab.

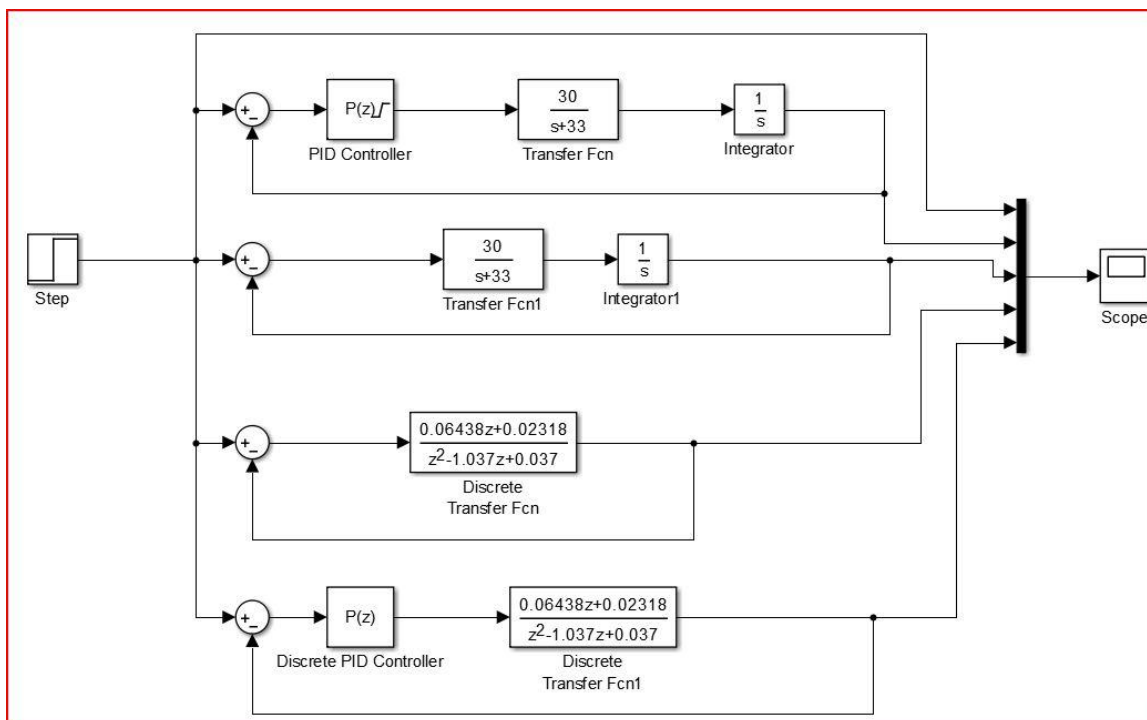


Figura 9 - Diagrama de blocos do sistema  
Fonte: Autoria própria

A curva de resposta ao degrau levantada (figura 10) refere-se à posição do motor nos domínios contínuos e discreto, com e sem controlador. A intenção do trabalho é controlar posição, e não velocidade. Para obter a posição, basta integrar a velocidade (da mesma forma que a velocidade é a derivada da posição). Por este motivo, há um integrador na saída da planta. Na figura abaixo a curva marrom representa o degrau, a azul se refere ao plano contínuo sem controlador, a curva laranja é da planta contínuo com controlador, a vermelha é da planta discreto sem controlador e a curva verde é referente a planta discreto com controlador. Em ambos os casos com malha de controle (contínuo e discreto), o controlador é do tipo proporcional, com sintonia otimizada por uma ferramenta específica do Matlab.



Figura 10.- Curva de resposta ao degrau

Fonte: Autoria própria

## 4 CONFIGURAÇÃO DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Para definir os parâmetros mínimos de capacidade da fonte de energia para alimentação do sistema, é necessário determinar como a energia será usada em cada subsistema.

Na placa de controle, a alimentação necessária para supri-la é de 5 VDC. A corrente necessária é menor que 500 mA, pois uma porta USB é suficiente para

alimentar tal placa; sabendo-se que cada porta USB, por padrão, pode fornecer no máximo 500 mA, o consumo desta placa não pode ser maior que este valor. O módulo Bluetooth consome 10 mA.

A parte referente ao sensor é composto por 3 optoacopladores (5 Vdc, 150 mA cada) e um sensor indutivo (12 Vdc, 300 mA).

A parte de potência para acionamento do motor já requer mais atenção. É sabido que, em giro pleno, alimentado com 12 Vdc, a corrente do motor escolhido é de aproximadamente 0,9 A (com engrenagem redutora). A corrente de partida do motor sem carga, medida com o auxílio de um resistor shunt num osciloscópio é de 1,6 A.

#### 4.1 ALIMENTAÇÃO AC E RETIFICAÇÃO

Baseado nestas informações foi projetada uma fonte, com um transformador que reduz 127 para 12 Vac, com um terminal central na saída do secundário; logo, a saída tem a configuração 6 + 6 Vac. A corrente máxima suportada pelo transformador é de 2 A. O terminal central do secundário do transformador não foi conectado, usando apenas os terminais das pontas da bobina.

A saída do transformador tem sua tensão retificada, disponibilizando o barramento CC para alimentação do inversor do motor (barramento Vp) e filtrada para 12 Vdc com uso do CI LM7812 (barramento V12\_s), para suprir energia a um sensor indutivo. A tensão também é reduzida para 5 Vdc (barramento V5\_s) para alimentar a placa de controle, o módulo Bluetooth e os optoacopladores usados como fins de curso. A figura 11 representa o circuito esquemático da parte da alimentação AC, retificação para o barramento CC do inversor do motor, barramento CC de alimentação de sensores e placas de controle. Os leds têm a função de informar se a o barramento principal (Vp) e de controle (V5\_s) estão energizados.

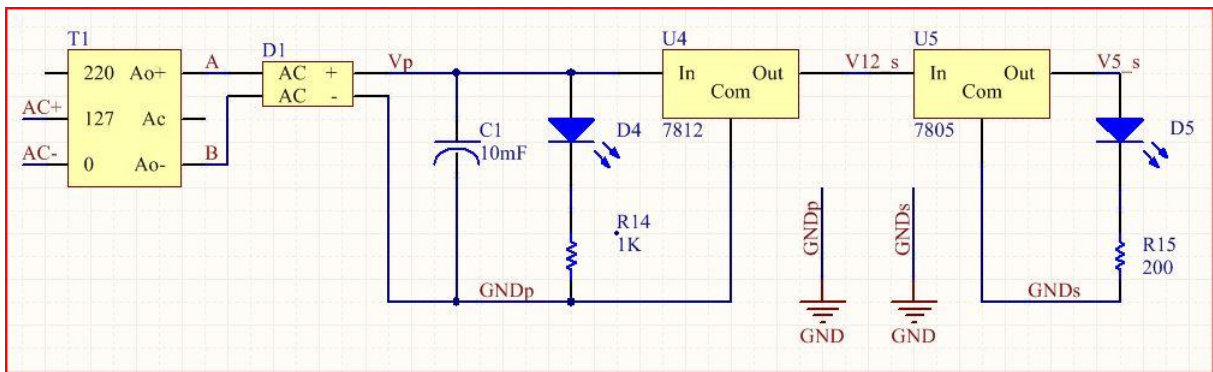


Figura 11 - Circuito esquemático de alimentação do sistema.  
 Fonte: Autoria própria

## 4.2 ALIMENTAÇÃO DO MOTOR

Para a alimentação do motor, a tensão senoidal é retificada em onda completa tal qual no sistema acima. A diferença está no capacitor para filtrar e estabilizar a tensão para alimentação do motor. Como as correntes envolvidas são substanciais, o capacitor necessário para esta tarefa deveria armazenar bastante energia, principalmente para os momentos de partida do motor. Por este motivo, o capacitor utilizado junto ao retificador é de 10mF. Para o controle de sentido e velocidade do motor, foi usada uma configuração de ponte H através de um circuito integrado, tendo o motor no ponto central da ponte, permitindo o uso de PWM para o controle de rotação do motor. O diagrama esquemático simplificado de acionamento do motor com ponte H está representado na figura 12.

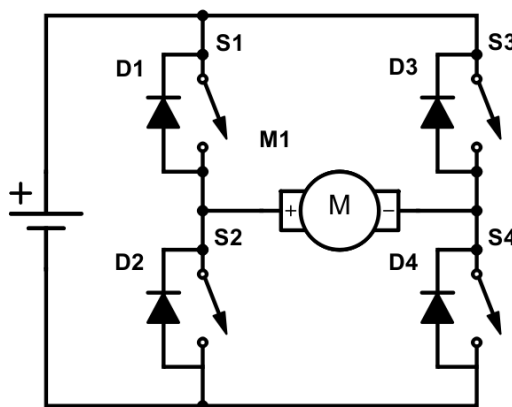


Figura 12 - Esquema simplificado de alimentação do motor por ponte H.  
 Fonte: Autoria própria



### 4.3 A SOLUÇÃO CLÁSSICA PARA ACIONAMENTO DE MOTORES CC COM INVERSÃO DE GIRO

O acionamento de motores pode ser representado num diagrama definido por quadrantes. Nesta representação, considera-se a possibilidade de giro e aceleração em sentidos iguais ou opostos. No caso deste trabalho, o desejável é que o motor trabalhe nos quatro quadrantes, ou seja, que se tenha a possibilidade de aceleração e frenagem do motor e da escolha do sentido de rotação do acionador. Uma solução usada para este método de acionamento utiliza componentes semicondutores, acionados diretamente por pulsos PWM.

### 4.4 CIRCUITO INTEGRADO PARA ACIONAMENTO DO MOTOR

Um dos principais fatores para o sucesso da proposta de projeto apresentada é o acionamento em ponte H do motor CC, possibilitando tanto o giro nos sentidos horário e anti-horário bem como o controle de velocidade.

Após uma pesquisa comparando especificações de projeto e disponibilidade de materiais, foram encontrados dois componentes capazes de atender tais requisitos: o L298 e o TLE5206. Ambos são acionadores de motores em ponte H.

O L298 é um CI com dois canais para acionamento de motores independentes. O limite de corrente é de 2 A por canal. Como sugerido pelo próprio fabricante, os canais podem ser conectados para operar em paralelo, acionando um único motor; neste caso, a corrente suportada passa a 4 A (em modo contínuo). O uso deste componente é simples, e sua lógica interna impossibilita o risco de curto de braço (quando a corrente elétrica passa somente por um dos ramos da ponte H), se em modo canal simples. No caso de canais em paralelo, é necessário interligar corretamente os ramos de acionamento, caso contrário o componente será provavelmente danificado. O fabricante orienta, através da folha de dados do componente, como deve ser efetuada a ligação em paralelo dos canais.

O TLE5206 é uma ponte H de único canal, capaz de suportar até 5 A em modo contínuo. Possui recursos como proteção para sobretemperatura e subtensão, curto de braço, entre outros, além de um pino para sinalização destas e outras falhas que possam ocorrer no uso deste componente. O acionamento da ponte respeita

uma tabela verdade, que apesar de receber apenas duas entradas, não é tão simplória quanto o L298. Além disto, requer uma sequência de acionamento das entradas para o correto funcionamento do circuito.

Os dois componentes funcionam perfeitamente quando em modo de corrente contínua, dissipando pouca potência. Para o acionamento usando PWM, ambos apresentaram aquecimento considerável. Embora o controle de velocidade do motor aconteça apenas em breves espaços de tempo, o uso do dissipador é indispensável para garantir a integridade dos componentes.

O L298 é um dispositivo comercializado em escala no Brasil, com custo baixo (em torno de R\$ 13,00). Já o TLE5206 é importado, custando em torno de US\$ 5,00 em sites de comercialização de componentes eletrônicos (mouser.com). Ao considerar custos, a escolha do componente é irrelevante. Mas, devido acionamento simplificado e disponibilidade no mercado interno, o L298 foi escolhido como componente de acionamento deste projeto.

Para evitar contaminações e ruídos provenientes do acionamento do CI para a placa de controle, foram colocados 2 optoacopladores TIL111 para garantir o isolamento entre sistema de controle e de acionamento.

#### 4.5 USO DE FILTRO LC PARA ACIONAMENTO DO MOTOR

Numa fonte de acionamento ideal, o funcionamento se dá por controle da corrente. Para tal, foi utilizada uma configuração de filtro LC com este propósito.

A frequência do PWM de acionamento da ponte H é 10kHz. O filtro LC tem por objetivo linearizar a corrente fornecida para o motor. Após simulações, os valores definidos para o filtro foram: capacitor de 100uF e indutor de 1mH. Devido dificuldades de encontrar um indutor que atendesse à demanda de corrente do motor, foi alterado seu valor para um que suportasse 2A. O componente encontrado foi o EPCOS/TDK B82723, que é um indutor com núcleo cilíndrico e 4 terminais, formado por 2 enrolamentos de 5,6mH, capaz de suportar os 2 A necessários à partida do motor. Este indutor fica em série com o motor.

O capacitor que complementa o filtro é de 100uF, ligado em paralelo com o indutor e motor.

O resultado da simulação pode ser visto na figura 13 a seguir. Nela, é possível visualizar os pulsos de acionamento do motor (linha lilás), e o comportamento da corrente após filtragem (linha azul).

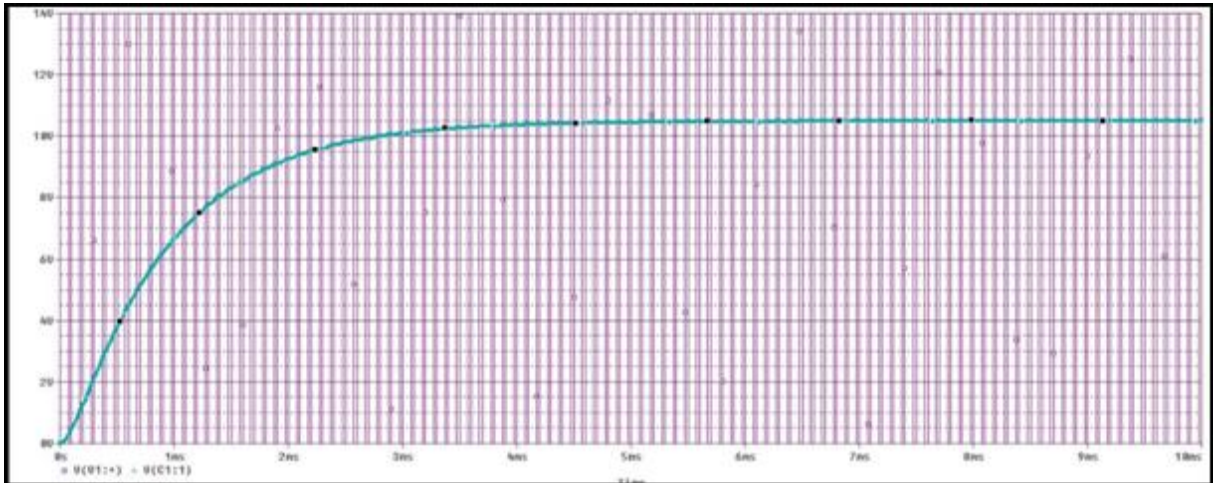


Figura 13 - Comportamento do filtro LC de acionamento do motor  
Fonte: Autoria própria

A partir de todas as explicações acima sobre o barramento de energia do motor, o CI de acionamento em ponte H e o filtro LC para melhorar a característica de corrente para o motor, foi elaborado o circuito esquemático da figura 14.

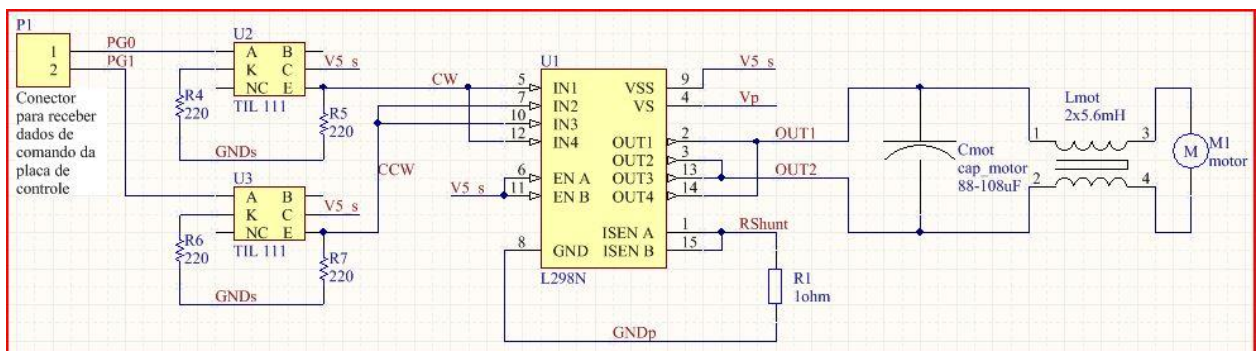


Figura 14 - Circuito esquemático de acionamento do motor.  
Fonte: Autoria própria

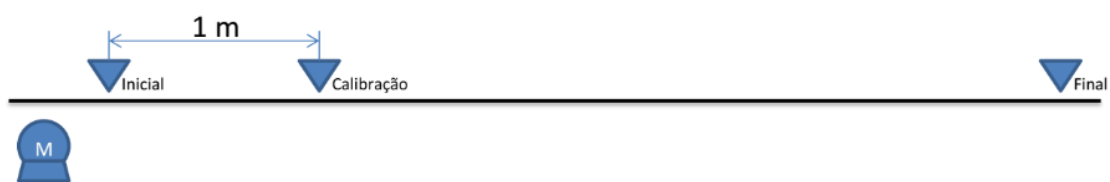
## **5 SISTEMA DE LEITURA DO COMPRIMENTO DO TRILHO E POSICIONAMENTO DO ALVO**

Este projeto tem por alicerce a modularização dos subsistemas, e a facilidade de uso. Para isto, foi definido uma filosofia de calibração e auto ajuste dos sistemas de posicionamento de alvos.

Por ser um sistema de posição variável, há a necessidade de um ponto fixo de referência. Neste projeto, foram considerados 3 pontos de referência: início de curso (carro próximo ao atirador), fim de curso (carro no fim do trilho) e um ponto de calibração do sistema.

Para esta finalidade, foi utilizado o sensor reflexivo TCRT5000, que é basicamente um conjunto de LED e optotransistor em um mesmo invólucro plástico, operando com luz infravermelha. Seguindo a orientação da folha de dados do componente, foi montado no catodo do LED um resistor de 100 ohms, respeitando assim a corrente máxima suportada por tal. Para o optotransistor foi usado um resistor de 10 kohms no emissor; assim, qualquer variação na tensão de base do transistor seria medida no emissor deste. Tanto LED quanto optotransistor foram alimentados com 5 Vdc. Para melhorar a qualidade da reflexão do carro para o sensor, foi montado um espelho na parte interna do carro.

Os pontos de referência foram definidos seguindo alguns critérios simples. Para o início e fim de curso, o objetivo é sinalizar ao controlador que os limites foram atingidos, de forma a não serem ultrapassados. O uso de barreiras mecânicas é indispensável para garantir que, mesmo que o controle eletrônico falhe o carro não sairá do trilho em suas extremidades. O terceiro ponto é uma referência para calibração do sistema, pois está a uma distância predeterminada do sensor de início de curso, marcando quanto foi percorrido desde sua largada. Sempre que necessário, o sistema calibrará a contagem do giro do motor em função da distância padrão. Neste trabalho, foi definida a distância de 1 metro a partir no ponto inicial, como mostrado na figura abaixo.



**Figura 15 - Esquema de posicionamento dos sensores reflexivos**  
**Fonte: Autoria própria**

Além destes sensores fixos, haverá também um sistema de contagem de voltas do motor, garantindo o posicionamento correto do alvo entre os sensores. Para esta contagem, um sensor indutivo LJ12A3-4-Z/BX fará a leitura da polia no motor, com marcações em papel alumínio segmentado a cada 90 graus; ou seja, o sensor indutivo será atuado quatro vezes por volta, permitindo o posicionamento preciso entre os sensores principais.

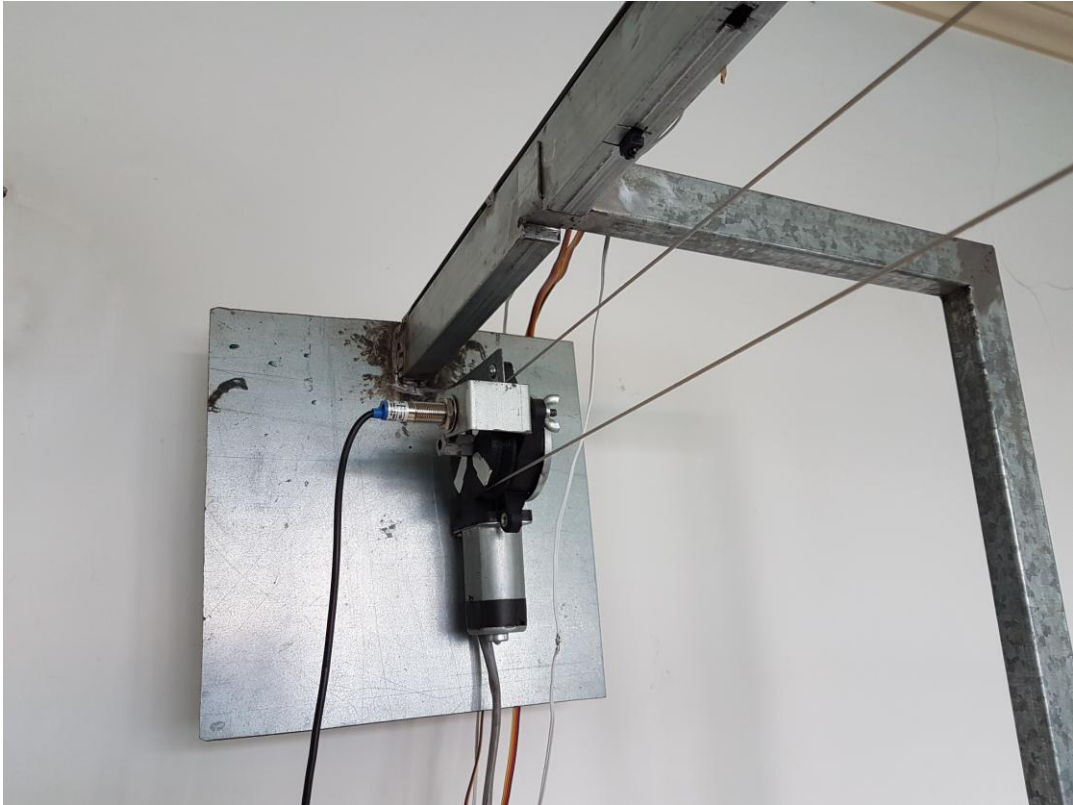
Desta forma, não há a necessidade de um suporte técnico constante em relação à programação e configuração da trilha no código principal, desde que se respeite a distância exigida entre os sensores, assim como a identificação coerente no fim de curso do trilho.

Por fim, um sistema complementa o outro. Isto aumentará a robustez e confiabilidade, além de proporcionar ao proprietário do estande de tiro que faça mudanças na configuração da pista sem amarrar a uma manutenção diferente da corretiva ou preventiva. Ele estará livre para, se for o caso, levar o sistema para outros lugares, bastando apenas uma calibração para medição do comprimento total da pista.

## **6 MONTAGEM FINAL DO CONJUNTO**

A estrutura do sistema foi montada usando barras de alumínio, e um carro de transporte com roldanas. No fim do trilho tem uma roldana para o cabo de aço. O motor foi preso na estrutura por meio de um suporte e parafusos.

As imagens das figuras 16, 17 e 18 mostram o sistema de transporte montado, com detalhes do motor, sensor reflexivo e as placas de controle e alimentação.

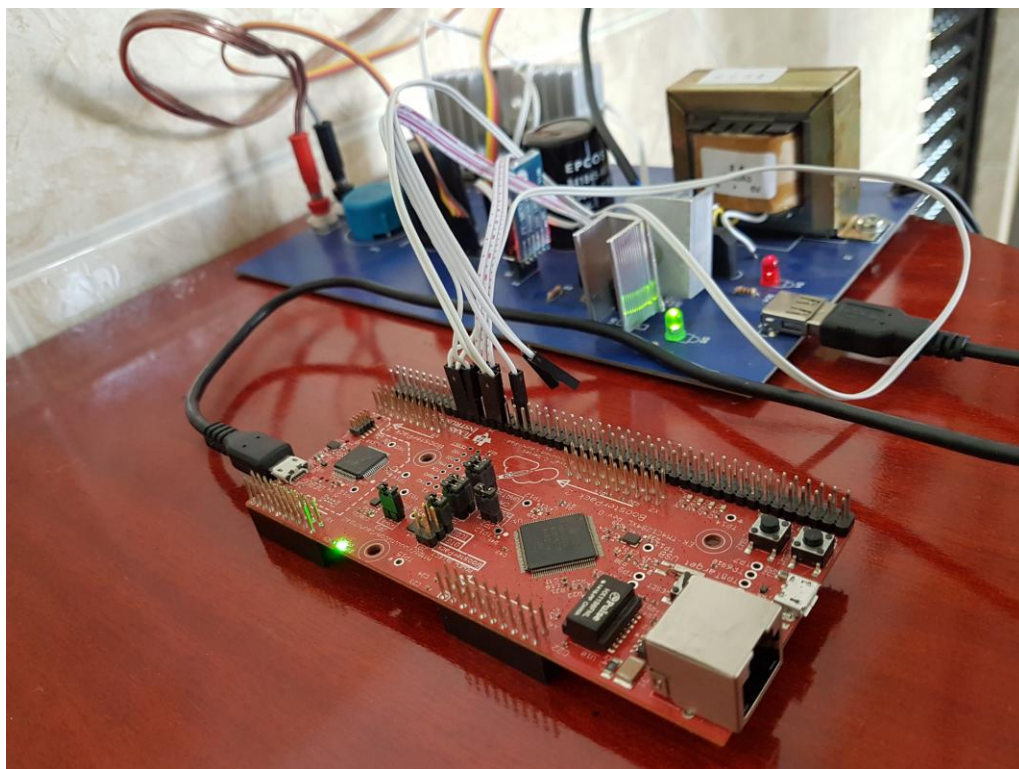


**Figura 16 - Motor de acionamento do sistema**  
**Fonte: Autoria própria**



**Figura 17 - Roldana de fim de trilho e sensor reflexivo**  
**Fonte: Autoria própria**



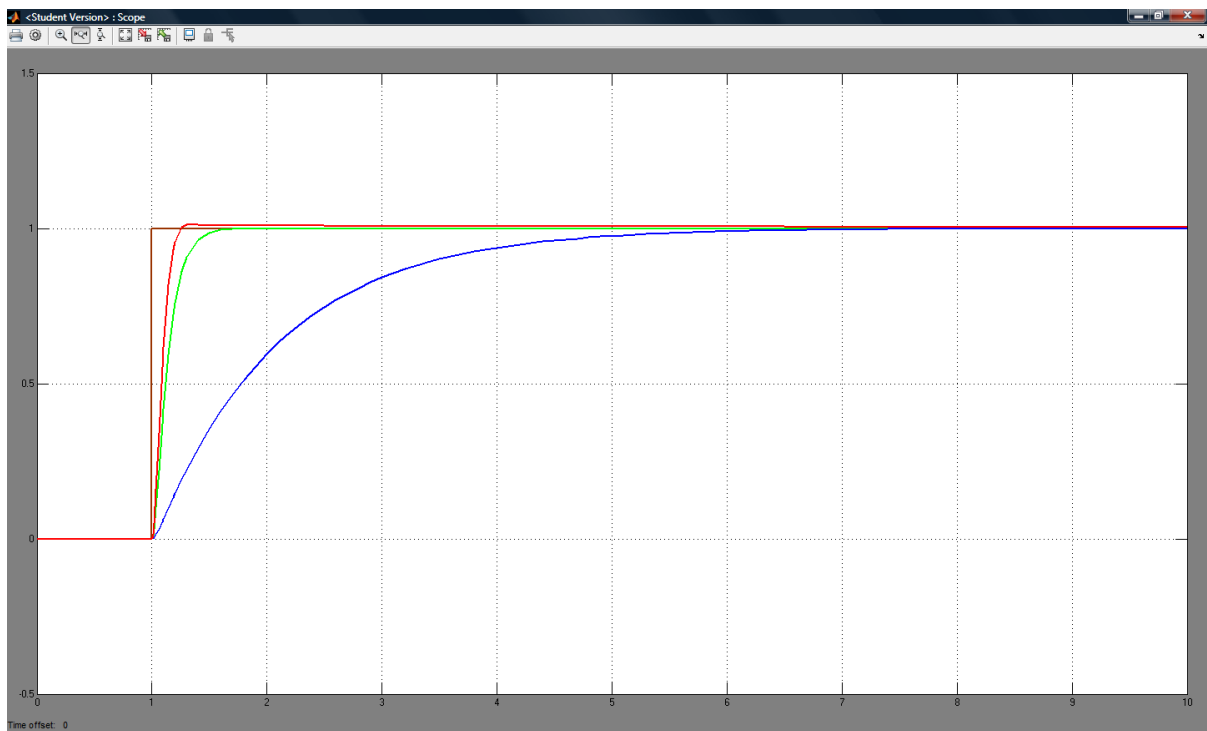


**Figura 18 - Placas de controle e alimentação**  
**Fonte: Autoria própria**

## **7 DIFERENÇA ENTRE A POSIÇÃO SOLICITADA E O PONTO DE PARADA**

Durante os testes, foi encontrada uma defasagem entre a posição requerida e a distância de parada do alvo. Para avaliar se o motivo desta falha era o método de controle, simulamos no MatLab os seguintes cenários: uma planta sem controlador, uma planta com controlador proporcional P (tal qual utilizada neste projeto), e uma planta com controlador proporcional-integrativo PI.

Os resultados desta simulação são observados na figura 19:



**Figura 19 – Simulação com controladores P e PI**  
**Fonte: Autoria própria**

Nesta imagem, temos o degrau aplicado às entradas das plantas (representado pela linha marrom), a planta sem controlador (linha azul), a planta com controlador P (linha verde), e a planta com controlador PI (linha vermelha). Observamos que em todos os casos não há erro em regime - mesmo sem controlador a planta anulava seu erro. A função do controlador, portanto, é obter erro nulo o mais rápido possível, cujo objetivo é alcançado como mostrado pelo controlador P. O uso do controlador PI traz um sobre-sinal (*overshooting*) indesejado, pois o alvo passaria da posição comandada e então retornaria para a posição correta, num tempo maior que a ação do controlador P.

A partir destas informações, concluímos que o controlador proporcional P utilizado neste projeto é robusto e suficiente para o controle efetivo da posição do alvo.

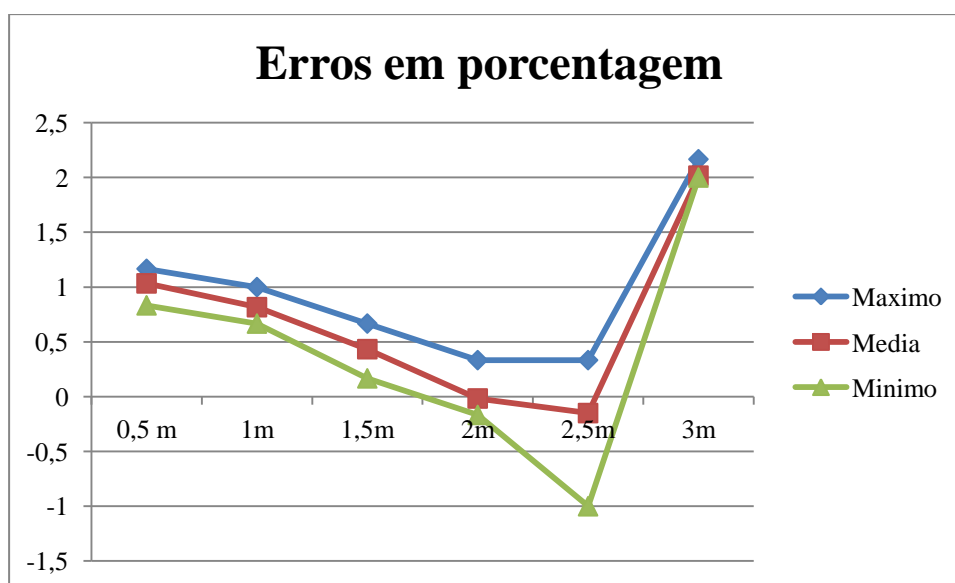
O sistema de contagem de pulsos apresentava, no momento de sua implementação, valores que oscilavam entre 60 e 150 em rotina de calibração (distância fixa de 1 metro). Esta amplitude se dava por conta dos repiques (*bouncing*) do sensor indutivo, que registrava mais de 2 pulsos por contato metálico.

Em virtude destas oscilações, foi aplicado na saída do sensor indutivo um filtro RC passa-baixas. Os contatos metálicos foram melhorados, e sua quantidade



reduzida de 8 para 4 contatos por volta. Com isto, temos mais estabilidade na contagem de pulsos, que agora tem valor médio de 25 pulsos por metro (1 pulso a cada 4 centímetros). Para a aplicação proposta, o sistema sensor/contato foi considerado adequado às necessidades.

Quando efetuado o comando de deslocamento automático, os erros apresentados pelo controlador nos casos testados foram nulos, ou seja, o controlador novamente se mostrou eficiente. Ainda assim, o modelo proposto apresentou defasagem de 6 cm apenas quando em 3 metros, embora para outros valores as defasagens foram bem menores e quase nulas, mostrando que o erro não era cumulativo. O erro percentual máximo de foi de 2% (para o valor de 3 metros). Se considerarmos a mesma defasagem de 6 cm numa pista real de 30 metros, tal variação pode ser desconsiderada (erro de 0,2%). O gráfico da figura 20 mostra o resultado da compilação das medições das distâncias solicitadas e suas respectivas defasagens média, mínima e máxima.



**Figura 20 – Erro percentual das distâncias solicitadas**  
Fonte: Autoria própria

## **8 COMUNICAÇÃO ENTRE CELULAR E PLACA DE CONTROLE (TIVA)**

O meio de comunicação entre a placa de controle e o celular será o Bluetooth, através de módulo dedicado HC-06. Embora este componente possua um sistema de configuração para trabalhar no protocolo RS232, a transmissão de dados deste dispositivo utiliza a tecnologia TTL, que permite a conexão direta entre módulo HC-06 e placa Tiva, sem necessidade de um circuito conversor de dados seriais como o MAX232. Ou seja, basta ligar os pinos Rx e Tx do módulo Bluetooth aos pinos Tx e Rx da placa Tiva, respectivamente.

Para a configuração da placa de controle para a comunicação, as funções disponibilizadas no processador fornecem meios para a definição da velocidade de comunicação, paridade, tamanho do dado a ser transmitido, sistema de fluxo de controle, entre outros parâmetros.

A configuração definida para a comunicação entre dispositivos será em uma taxa de 9600 bps, sem paridade, com 1 bit de parada e sem fluxo de controle. Esta configuração visa simplificar a operação do sistema, além de ser uma taxa de dados razoável que permite estabilidade na troca de dados.

## **9 DETALHAMENTO DO PROGRAMA DA PLACA DE CONTROLE E CELULAR**

O programa da placa de controle Tiva foi desenvolvido com base no sistema operacional TI-RTOS, disponibilizado pelo próprio fabricante. Um sistema operacional executa tarefas conforme a demanda, e quando está ocioso executa tarefas sem prioridade definida (modo *idle*). As tarefas prioritárias são: chamada da porta serial UART, atuação dos sensores reflexivos, atuação do sensor indutivo e tarefa de controle de posição do motor. As tarefas sem prioridade definidas são: envio de dados da placa para o celular e sinalização da placa em funcionamento.

A UART recebe comandos de avançar, recuar, calibrar e parar. Além destes citados anteriormente, também recebe dados de controle em automático informando a distância desejada.

Os sensores reflexivos são atuados quando o suporte do alvo passa sob os mesmos. À exceção do sensor de calibração, o motor recebe um comando de

parada. O sensor de calibração só é considerado quando o sistema está em modo de calibração, informando para a placa de controle que o suporte do alvo atingiu a marca de 1 metro a partir do início do trilho.

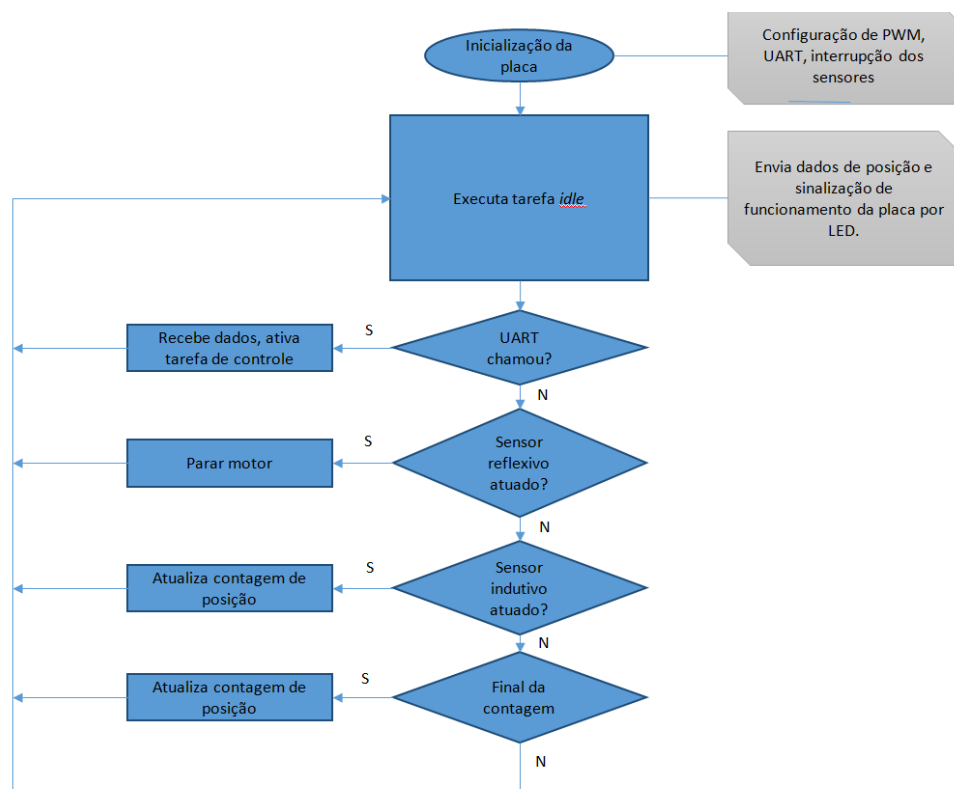
O sensor indutivo envia pulsos para a placa quando atuado. Dependendo do sentido de giro do motor a tarefa de contagem de pulsos incrementa ou decrementa o total de pulsos, representando a distância do suporte com relação à posição inicial.

A tarefa de controle regula a posição do suporte de alvo em função da distância desejada. À medida que o suporte se aproxima da posição requerida, a velocidade do motor é reduzida até a parada total.

Os envios de dados da placa informam a contagem de pulsos de posição do motor e o modo de operação da placa.

A sinalização da placa indica se a mesma não está travada, piscando um LED a cada 1 segundo. Se parar de piscar, indica que o sistema operacional está travado, necessitando o *reset* da placa.

O fluxograma na figura 21 representa o ciclo de chamada das tarefas do programa da placa, bem como as ações em cada etapa.



**Figura 21 - Fluxograma das tarefas do programa da placa de controle**  
 Fonte: Autoria própria

O programa de celular auxilia o usuário no controle do motor, facilitando o posicionamento do alvo. O aplicativo foi desenvolvido no Android Studio (Windows e Linux), considerando que o celular do usuário utiliza plataforma Android 6 (Marshmallow). O ambiente de programação usa Java como linguagem base. As rotinas giram em torno de uma tela principal, acessando outros recursos através de menus.

Na tela inicial, há vários botões numerados de 0 a 9, um botão para envio da distância, 3 botões para controle manual do motor e um botão de calibração. A figura 22 mostra a tela inicial do programa obtido a partir da interface de desenvolvimento Android Studio.

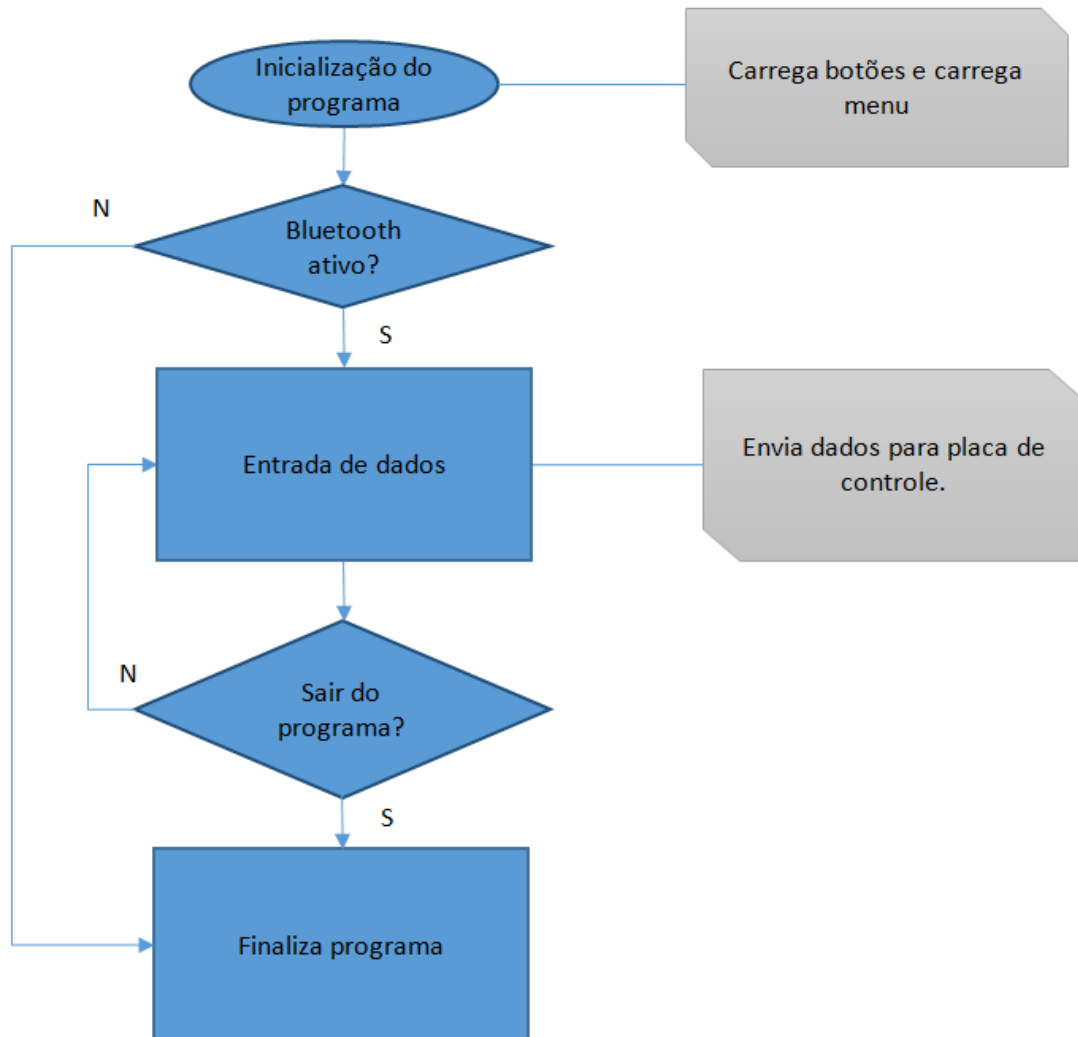


**Figura 22 - Tela inicial do programa do celular**  
**Fonte: Autoria própria.**

Durante o carregamento da tela inicial, o programa verifica se o Bluetooth está ligado. Se não estiver, o usuário é interrogado se libera acesso do programa para habilitação da comunicação. Caso o usuário negue acesso, o programa é finalizado.

O botão de menu abre acesso para a conexão Bluetooth, listando os dispositivos pareados. Após o usuário selecionar a pista do alvo em questão, o

programa estabelece a comunicação com a placa de controle da respectiva pista, liberando envio de dados em caso de conexão bem-sucedida. Importante ressaltar aqui que o programa não faz a busca de dispositivos não pareados previamente; este pareamento se faz via opções de configuração do celular. O fluxograma na figura 23 representa o funcionamento do programa do celular.



**Figura 23 - Fluxograma do programa do celular**  
Fonte: Autoria própria

Durante a rotina de envio de dados do celular para a placa de controle, é dado um comando de calibração e, após retorno de conclusão da calibração, o alvo segue para a posição desejada.

## 10 CONCLUSÃO

O uso de um sistema controlado facilita a movimentação de um alvo remotamente. Apesar da robustez do conjunto, obtivemos erros mínimos que podem ser desprezados quando comparados com a implementação usada atualmente nos clubes de tiro consultados.

O programa de celular ainda não está habilitado para a varredura de dispositivos Bluetooth no entorno. Para controlar o sistema, é necessário que o usuário faça o pareamento da pista previamente ao uso do programa. Este lê a lista de dispositivos pareados para então realizar a conexão. A varredura de dispositivos Bluetooth nas proximidades está prevista para a próxima atualização do aplicativo. Outro recurso previsto para a revisão do programa é a notificação de eventos, como o fim da rotina de calibração, e avisos de alvo nos extremos dos trilhos (impossibilitando o suporte de ir além desta posição).

No caso do motor, o sistema de controle não foi capaz de acionar para baixas rotações, devido características como inércia do conjunto mecânico.

## 10.1 TRABALHOS FUTUROS

As oportunidades de melhoria para este sistema circundam basicamente na disponibilidade do programa de celular para outras plataformas (iOS e WindowsPhone), e no aprimoramento das funções de recebimento de dados.

Sobre a questão da robustez na leitura de posição do alvo, pode-se implementar uma redundância na leitura de giro do motor, como encoder relativo ou potenciômetro. O problema especificamente do potenciômetro é que, em caso de mudança no comprimento total do trilho, haveria a necessidade de alterações no sistema eletrônico ou mecânico de forma que a resistência do potenciômetro variasse em toda sua amplitude para a nova distância configurada. Tal alteração não seria necessária no uso do encoder relativo, que apresentaria todos valores possíveis a cada volta completa da polia do motor

## 11 REFERÊNCIAS

**Tiro Esportivo – Portal Brasil 2016.** Disponível em:  
<http://www.brasil2016.gov.br/pt-br/megaeventos/olimpiadas/modalidades/tiro-esportivo>. Acesso em : 10 Agosto 2016.

-OGATA, Katsuhiko. **Discrete-Time Control Systems** . - Prentice Hall International Edition: 1987.

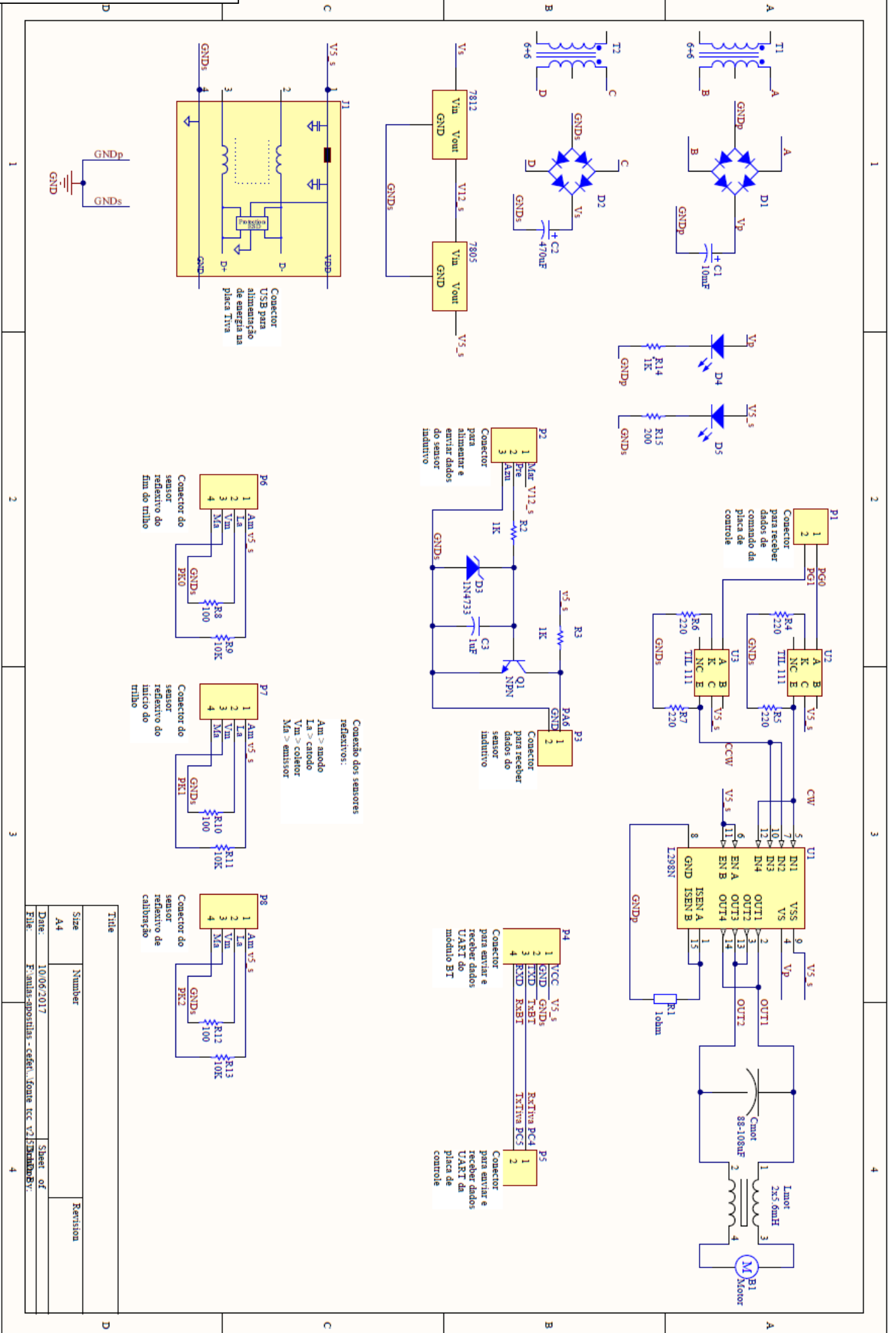
OGATA, Katsuhiko. **Engenharia De Controle Moderno**. Pearson Prentice Hall. 5º Edição, 2010.

GLAUBER, Nelson. **Dominando o Android**. Novatec. 2º Edição, 2015.

**Products & Services - Shooting Range Industries.** Disponível em:  
<<http://www.shootingrangeindustries.com/product-and-services/>>. Acessado em 13 agosto de 2016.

**Clube Orion de Tiro.** Disponível em: < <http://www.clubeorion.com.br/>>. Acessado em 20 de julho de 2016.





Title	Number	Revision
A4		
Date:	10/06/2017	Sheet of
File:	F:\analis-positivas - cefel\fonte tcc v2\5\analisBy:	